3/99

Van principes naar praktijk: universele experimenteerprint

Inhoud

3/99.1
Inleiding

Experimenteren met basis-elektronica

Van principes naar praktijk!
Deel 3 van dit naslagwerk over de elektronica heet "Principes". Wie alle honderden pagina's leest en bestudeert, zal een aardig inzicht in de werking van elektronische onderdelen en elektronische schakelingen hebben verworven. Maar, principes bestaan uit theorie en niet iedereen is in staat om aan de hand van droge, papieren theorieën ook werkelijk te "voelen" wat de fundamenten van de elektronica zijn.
Vandaar dit afsluitend hoofdstuk 99 van deel 3, waarvan het de bedoeling is dat de beschreven principes "aan de lijve gevoeld" worden. Dit hoofdstuk vormt als het ware de brug tussen de droge theorie van deel 3 en de nabouwschakelingen van deel 4. In deel 4 worden immers eenvoudige en minder eenvoudige nabouwschakelingen beschreven, waarbij een goede verklaring van de werking van de schakeling en een uitvoerige bouwbeschrijving voorop staan. Toch kan men niet verwachten dat in deze bouwbeschrijvingen telkens terug gegrepen wordt naar de fundamenten van de elektronica. Enige basiskennis van de praktijk van de elektronica is dus wel degelijk vereist. Er zullen ongetwijfeld lezers/essen zijn, die niet alle schakelingen begrijpen. Deze doe-het-zelvers kunnen misschien, dank zij dit hoofdstuk 3/99, de kloof tussen niet begrijpen en wél begrijpen wat gemakkelijker overbruggen.

Zonder fundamenten geen hoogbouw
De moderne elektronica maakt het de nabouwer enerzijds wel heel gemakkelijk. Alle functies, die vroeger moeizaam met weerstanden, condensatoren, dioden en transistoren in elkaar moesten worden gesoldeerd, zitten nu in één IC'tje. Toch heeft dat gemakkelijke anderzijds één groot nadeel: als een nagebouwde schakeling onverhoopt niet werkt en men heeft te weinig kennis van zaken over de meest fundamentele schakelingen, dan zit men met een machteloos gevoel naar de niet werkende schakeling te staren. Vandaar dat in dit hoofdstuk geen ingewikkelde zaken aan de orde komen en geen handen vol IC's op de experimenteerprint gesoldeerd moeten worden. Alle aan de orde komende schakelingen bevatten maximaal twee "ouderwetse" transistoren en een handjevol weerstanden, condensatoren en dioden. De nagebouwde schakelingen hebben geen praktisch nut en dienen alleen om praktijkgericht, al experimenterend, te ontdekken waarom bijvoorbeeld een RC-kring de frequentie van een astabiele multivibrator bepaalt.

99.1 Inleiding

Heeft men, al onderzoekend, stapje na stapje experimenterend, vastgesteld en aangevoeld dat dit inderdaad vanzelfsprekend is, dan heeft men meteen de basiskennis in huis om ook een moderne uitvoering van een astabiele multivibrator, bijvoorbeeld met een timer-IC van het type 555, te doorgronden. Want, ondanks het gebruik van een IC, ook die astabiele multivibrator werkt, net zoals zijn "ouderwetse" transistor soortgenoot, nog steeds dank zij het feit dat een RC-kring bepaalde eigenschappen heeft.

Vrijheid ontwikkelen om zélf te experimenteren

Schakelingen nabouwen die in dit naslagwerk zijn gepubliceerd kan leuk zijn. De échte vrije tijds elektronicus, de hobbyist pur sang, wil echter meer: hij wil zelf initiatieven nemen, zelf met schakelingen experimenteren, zelf ideeën uitwerken. Naast de echte hobby-voldoening van dergelijke activiteiten is het een vaststaand feit, dat men door het zelf ontdekken van allerlei elektronische verschijnselen veel grondiger vertrouwd geraakt met de beginselen der elektronica. De reeks experimenten, die in dit hoofdstuk aan de orde komen, zijn er alleen maar op gericht de lezer(es) aan te sporen tot het zelf ontdekken van de elektronische basisschakelingen, waaruit ieder apparaat is opgebouwd.

De filosofie

In het kort is de gedachte achter dit hoofdstuk de volgende: ontwerp een universele, ruim uitgevoerde experimenteerprint, waarop een ontelbaar aantal basisschakelingen opgebouwd kan worden, bespreek in ieder aflevering één basisschakeling, leg uit wat de invloed van ieder onderdeel op de werking van de schakeling is en laat de rest aan de lezer(es) over. In dit inleidend hoofdstukje wordt het systeem besproken, vanaf aflevering 3/99.2 kan de soldeerbout heet gestookt worden!

De universele experimenteerprint

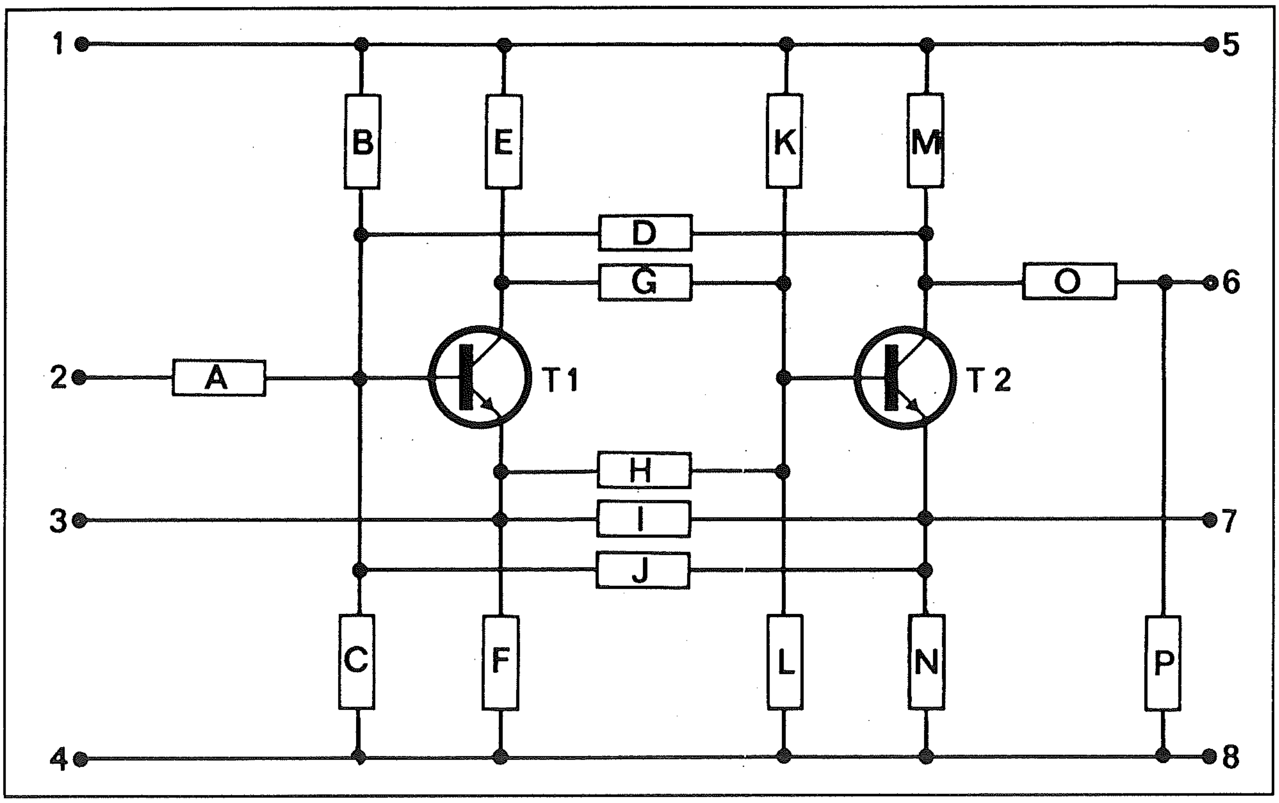
Het basisschema

De hogergenoemde basisschakelingen zijn opgebouwd uit niet meer dan twee transistoren en een handvol weerstanden, dioden en condensatoren. Voor het experimenteren en testen van de schakelingen is niets meer noodzakelijk dan een universeelmeter, enige lampjes en een luidspreker. In figuur 3/99.1-1 is het universeel schema getekend, waarin alle basisschakelingen passen. Dit schema kan dus terecht het basisschema genoemd worden. De onderdelen zijn voorzien van de letters A tot en met P. Deze lettercode zal steeds gevolgd worden. Als men dus ooit in een schema een onderdeel K tegenkomt, dan weet men dat dit onderdeel geschakeld is tussen de positieve voedingsspanning en de basis van de tweede transistor. De onderdelen A, O en P hebben niets met de basisschakeling te maken, zij komen alleen meespelen als twee basisschakelingen aan elkaar gekoppeld worden.

De universele experimenteerprint

In figuur 3/99.1-2, op de transparante pagina, is het printje voor deze schakeling getekend. Dit printje is zo ontworpen, dat er gemakkelijk mee geëxperimenteerd kan worden. Niet alleen zijn de printsporen breder dan nodig uitgevoerd, maar bovendien zitten alle onderdelen op een respectabele afstand van elkaar.

99.1 Inleiding



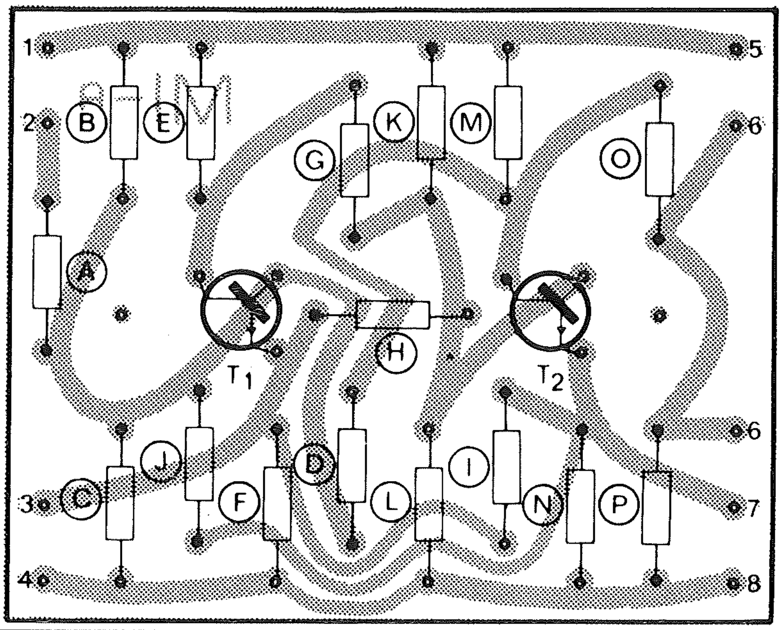
Figuur 3/99.1-1: Het universele basisschema van de experimenteerprint.

Het vervangen van een weerstand door een met een lagere of hogere waarde gaat dus zonder aan andere onderdelen derde graads brandwonden toe te brengen.
De in- en uitgangen van de print, genummerd van 1 tot en met 8, zijn zo gesitueerd, dat twee printen door middel van kleine draadbruggetjes met elkaar verbonden kunnen worden. De verbinding van de voeding komt bijvoorbeeld tot stand door uitgang 5 van de ene print te verbinden met ingang 1 van de tweede print. Als de collectorkring van de eerste print verbonden moet worden met de basiskring van de tweede, dan komt er een draadje tussen uitgang 6 van de eerste print naar ingang 2 van de tweede.

Componentenopstelling
De al even universele componentenopstelling volgt uit figuur 3/99.1-3.

De praktijk
Om het experimenteren zo eenvoudig mogelijk te maken, moeten alle gaatjes in de print opgevuld worden met soldeerlipjes, waarop nadien de verschillende onderdelen op hun beurt gesoldeerd worden. Uiteraard komt er een niet onaanzienlijk aantal draadbruggetjes in de print. Als bijvoorbeeld de emitter van transistor T 1 in een bepaalde schakeling naar massa gaat, dan komt er in de plaats van onderdeel F een draadbrug tussen de soldeerlipjes. De print is voorzien van twee bevestigingsgaatjes. Wie het erg mooi wil doen, die zaagt uit een stuk triplex een plaatje met dezelfde afmetingen als de print en bevestigt dit door middel van 5 mm lange afstandsbusjes onder de print. Kortsluitingen tussen de kopersporen door op de werktafel liggende draden of tangen zijn dan onmogelijk.

99.1 Inleiding



Figuur 3/99.1-3: De componentenopstelling van de print.

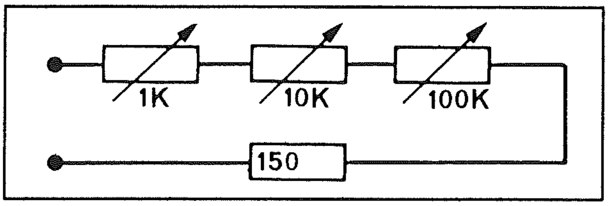
Alle schakelingen worden gevoed uit een spanning van slechts 6 V. Men kan daar natuurlijk een voedingsapparaat voor gebruiken, maar ook goed bruikbaar zijn de grote batterijen van 6 V, die hoewel verouderd, toch nog steeds te koop zijn. Het experimenteren met het systeem is dan volkomen veilig, zodat ook de jongste telgen uit het gezin met dit systeem hun eerste wankele schreden op het glibberige pad der elektronica kunnen zetten. Wie weet is dit wel een goed alternatief voor uren TV kijken of computerspelletjes spelen en wordt er op die manier een toekomstige abonnee op "Hobby Elektronica" gekweekt!

Potentiometer print

Bij de volgende afleveringen zal men dikwijls de zin: "probeer nu eens uit wat er gebeurt als de weerstand Rx vergroot en verkleind wordt" tegenkomen. Men kan dan natuurlijk iedere keer de soldeerbout ter hand nemen en steeds weer een andere weerstand insolderen, maar erg handig is dit niet. Veel leuker is uiteraard het continu kunnen variëren van de weerstand, zodat men ook veel directer de invloed van deze verandering op de schakeling kan waarnemen. Vandaar dat er een tweede, klein printje ontworpen is dat niets meer bevat dan een vaste weerstand en drie stel instelpotentiometers. Het schemaatje is in figuur 3/99.1-4 getekend. Door het verdraaien van de loper van deze instelpotentiometers kan men de totale weerstand van het systeempje dus variëren tussen 150 Ω en 111 kΩ. De vaste weerstand is een beveiligingsweerstand, ingebouwd om te vermijden dat men in zijn experimenteerdrift alle weerstanden op nul draait, wat voor sommige schakelingen vernieling van een transistor tot gevolg heeft.
Het printje wordt in de figuren 3/99.1-5 en -6 voorgesteld. De aansluitingen staan 2 cm van elkaar, precies de afstand tussen de aansluitingen van de onderdelen op de grote print. Als men ook deze print voorziet van twee soldeerlipjes kan men de

99.1 Inleiding

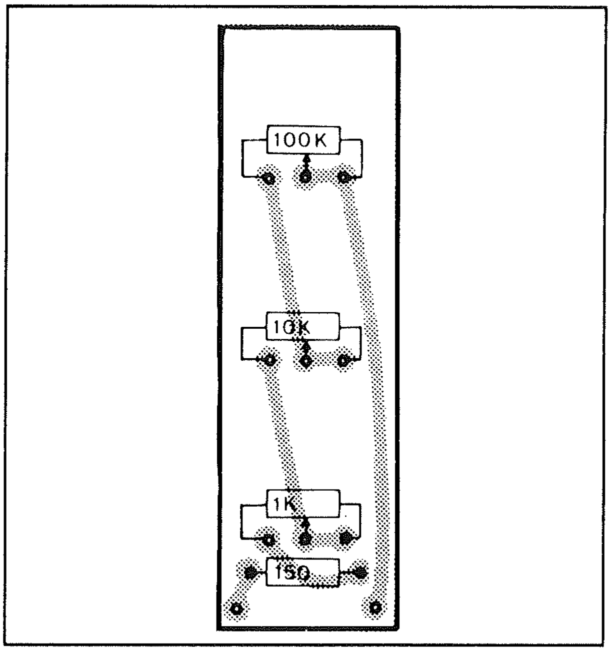
potentiometers dus rechtstreeks in de schakeling solderen.



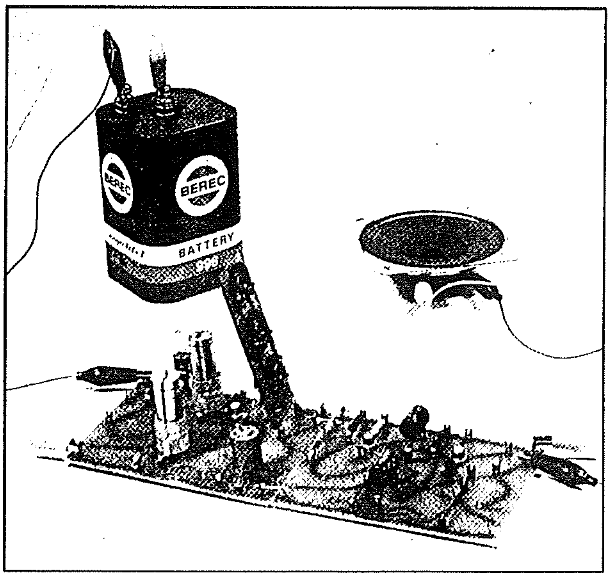
Figuur 3/99.1-4: Het schakelingetje voor de experimenteerweerstanden.

Tot slot van deze inleiding

Om een indruk te krijgen van de manier waarop het experimenteersysteem in de praktijk werkt, is in figuur 3/99.1-7 een foto gepubliceerd van een van de experimenten die in een van de volgende afleveringen aan de orde komt: een experimenteeropstelling van een elektronische sirene, opgebouwd op twee experimenteerprintjes.



Figuur 3/99.1-6: De componentenopstelling van de potentiometer print.



Figuur 3/99.1-7: Een van de experimenten die in een van de volgende afleveringen aan de orde komt.

99.1 Inleiding

3/99.2

Knipperlicht

Inleiding

Zoals reeds in het inleidend hoofdstukje aangekondigd, is de eerste schakeling die aan de beurt komt een knipperlicht. Deze schakeling op zichzelf kan dus reeds voor een aantal lezers/essen nuttig bruikbaar zijn, te denken valt hierbij aan modelbouwers/sters. Men kan deze schakeling, die de eenvoud zelve is, op een klein stukje print opbouwen, zodat men niet de veel grotere en universele experimenteerprint voor het praktische gebruik van de schakeling moet misbruiken. Het schakelingetje kan twee 6 V, 300 mA lampjes sturen, die dan in tegenfase gaan knipperen.

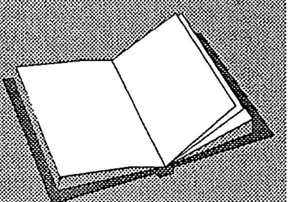
De schakeling

Om maar met de deur in huis te vallen, het volledige schema van de schakeling is getekend in figuur 3/99.2-1. De omcirkelde letters verwijzen uiteraard naar het algemene experimenteerschema, besproken in het inleidende hoofdstuk 3/99.1, figuur 3/99.1-1. In principe kan men de schakeling beschouwen als een tweetrapsversterker. Het bijzondere van de schakeling is echter, dat beide transistoren via twee wegen, twee terugkoppelingen, met elkaar verbonden zijn. De collector van de eerste transistor gaat via de condensator C1 naar de basis van de tweede. De collector van deze tweede halfgeleider is op zijn beurt via de condensator C2 verbonden met de basis van de eerste transistor.

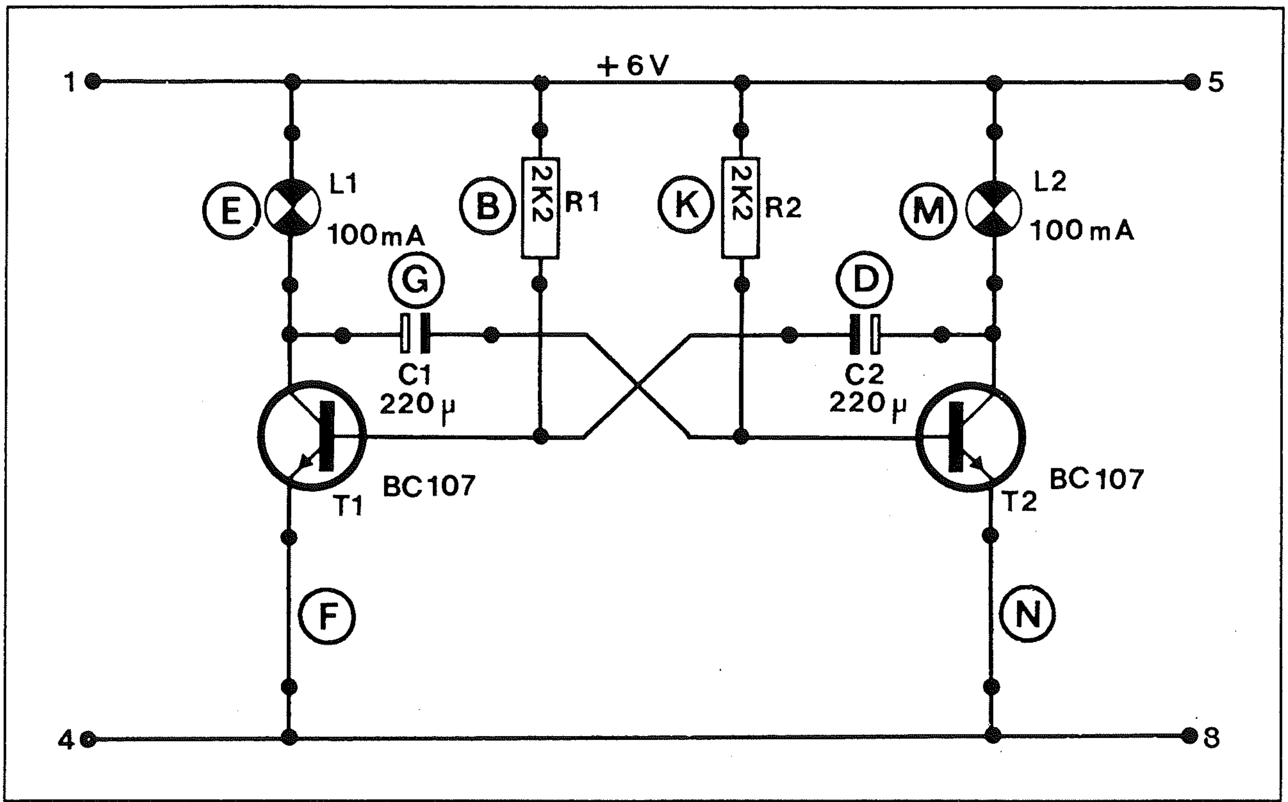
Over multivibratoren

Iedere schakeling, opgebouwd uit twee transistoren en waarbij de basissen en collectoren kruiselings met elkaar verbonden zijn, wordt algemeen aangeduid met de naam multivibrator. Als beide koppelingen gebeuren door middel van condensatoren, dan is de multivibrator a-stabiel. Is een der koppelende elementen een condensator en het andere een weerstand, dan heet de multivibrator mono-stabiel. Als, in het laatste geval, beide koppelingen door middel van weerstanden worden verzorgd, dan noemt men de schakeling een bi-stabiele multivibrator. In figuur 3/99.2-2 is bovenstaand verhaaltje nog eens grafisch voorgesteld. Het knipperlicht is dus duidelijk een a-stabiele multivibrator. Het spreekt vanzelf, dat de twee broertjes van deze schakeling in volgende hoofdstukken besproken worden.

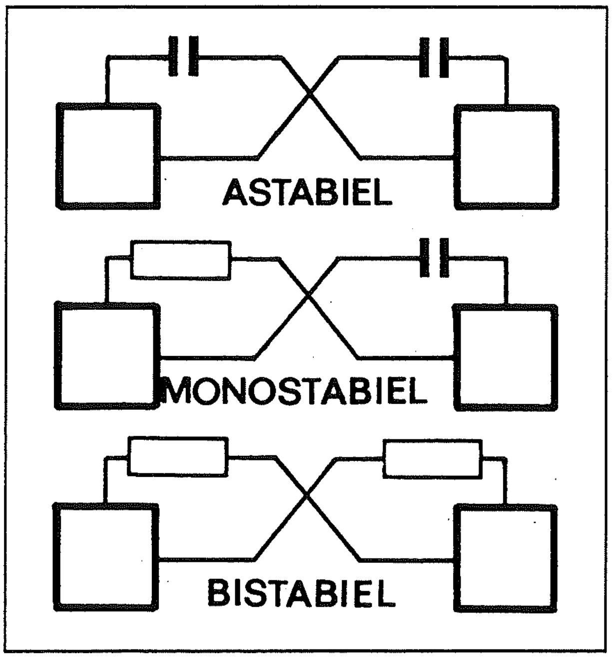
LEES OOK:
Hoofdstuk 3/99.1
Hoofdstuk 4/9.3



99.2 Knipperlicht



Figuur 3/99.2-1: Het experimentele schema van het knipperlicht.



Figuur 3/99.2-2: Familiefoto van de gebroeders multivibrator.

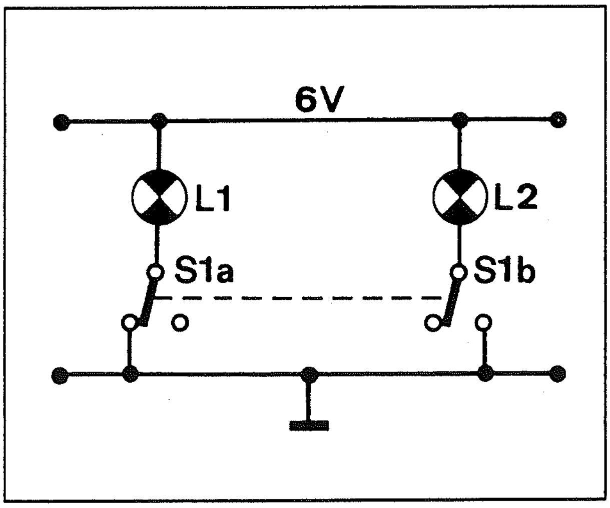
Uit het feit, dat met een a-stabiele multivibrator een knipperlicht is op te bouwen, volgt dadelijk het fundamentele gedrag van deze schakeling. De twee transistoren van de a-stabiele multivibrator zullen met een bepaald ritme open en dicht gaan en dit in tegenfase. Als de ene transistor dus geleidt, dan zal de andere sperren en vice versa.

De werking van de schakeling

In figuur 3/99.2-3 is voorgesteld, hoe de werking van de schakeling op de meest eenvoudige manier kan worden voorgesteld. De twee lampjes worden door een dubbele omschakelaar S1 om beurt met de massa verbonden. In de getekende stand brandt lampje L1 en is zijn compagnon L2 gedoofd. Als de schakelaar omgeschakeld wordt, dan zal L2 stralend ver-

99.2 Knipperlicht

kondigen dat het een lampje is en zal L1 de duisternis verkiezen. Het hoeft geen betoog, dat de schakelaarfunctie overgenomen kan worden door twee transistoren. Even duidelijk is, dat het doven of branden van een lampje veroorzaakt wordt door de bij dit lampje horende transistor in sper te sturen of in geleiding te brengen. Dat dit kan door in het eerste geval de basis van de transistor op een spanning, lager dan 0,7 V te houden en in het tweede geval door de basis door middel van een weerstand met de voedingsspanning te verbinden, hoeft al evenmin toelichting. De enige vraag die dus nog beantwoord moet worden is hoe automatisch van de ene toestand naar de andere geschakeld wordt.

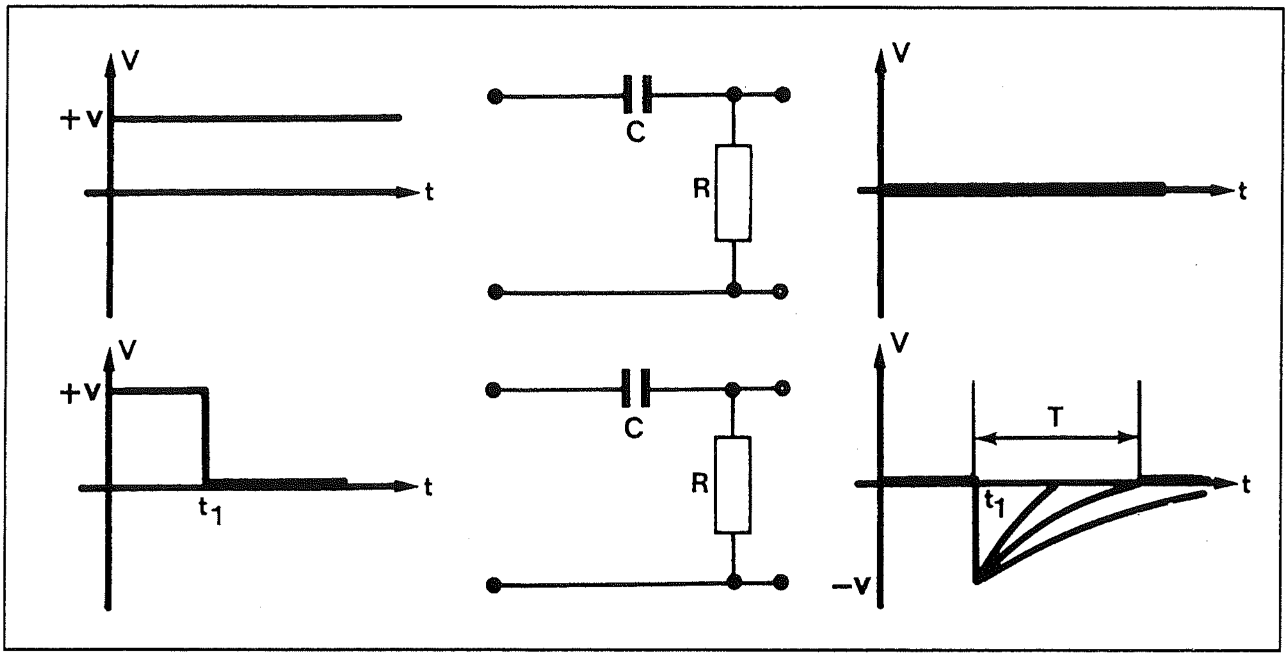


Figuur 3/99.2-3: Een eenvoudige mechanische voorstelling van de werking van een a-stabiele multivibrator.

Over een differentiator

Een algemene wet van de elektronica zegt dat, als er ergens in een schakeling een gebeurtenis moet plaatsvinden die in relatie staat tot een bepaald tijdsverloop, men er donder kan op zeggen dat er een condensator in het spel is. Dit is dus ook hier het geval. De schakeling, waarover het gaat, is getekend in figuur 3/99.2-4. Zo'n RC-combinatie, waarbij de condensator tussen in- en uitgang staat en de weerstand tussen uitgang en massa is verbonden, noemt men een differentiator. Zoals algemeen bekend, laat een condensator geen gelijkspanning door. Zijn weerstand voor gelijkspanning is dus oneindig groot. Als men aan de differentiator een gelijkspanning +V aanlegt, zoals in het bovenste schema is gedaan, dan zal de uitgangsspanning nul zijn. Algemeen bekend is dat een condensator echter voor wisselspanning een bepaalde weerstand heeft, die de impedantie wordt genoemd. Nu lijkt het misschien vreemd, maar een plotselinge spanningssprong zoals de flank van een puls, wordt door een schakeling opgevat als een signaal met een zeer hoge frequentie. Als men dus, zoals getekend in het onderste schema, de ingangsspanning van de differentiator op tijdstip t1 plotseling laten dalen van +V naar nul, dan zal deze spanningssprong ongehinderd door de condensator doorgelaten worden. Daar de uitgangsspanning nul was, komt er op de uitgang een spanning van -V te staan. De condensator wordt dus opgeladen tot een spanning -V. Dit is als volgt te verklaren. Na tijdstip t1 blijft de ingangsspanning nul, de linker plaat van de condensator komt dus op massapotentiaal. De rechter voert uiteraard de uitgangsspanning, dus -V. Over de condensator staat een spanning van V volt, hij is opgeladen. Nu vindt een condensator, net zoals alles in de natuur, een evenwichtsituatie veel bevredigender dan een niet-evenwichtige situatie. Het onderdeel wil het spanningsverschil tussen zijn platen zo snel mogelijk kwijt.

99.2 Knipperlicht

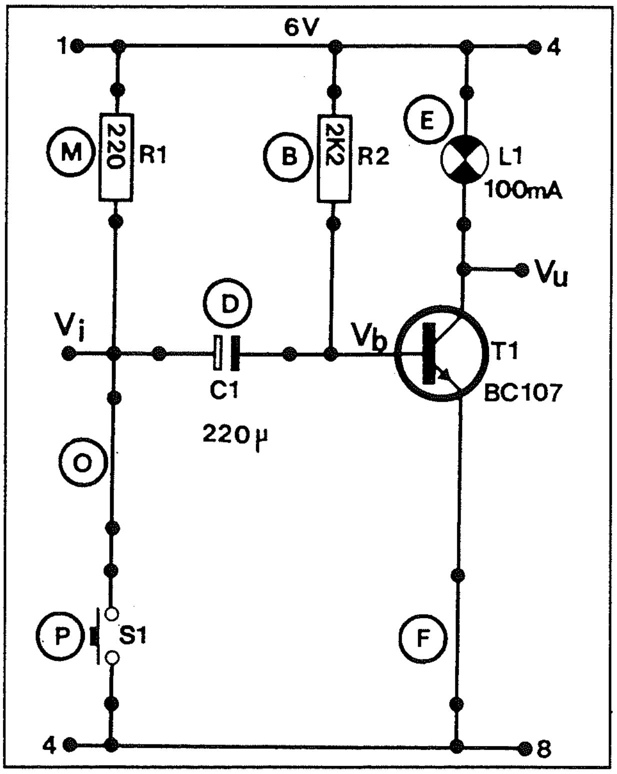


Figuur 3/99.2-4: De werking van een differentiator toegelicht.

Dat kan, er bestaat immers een gesloten stroomkring opgebouwd uit de condensator, de weerstand R en de uitgangsweerstand R van de op de differentiator aangesloten schakeling. Er gaat dus een stroom vloeien.

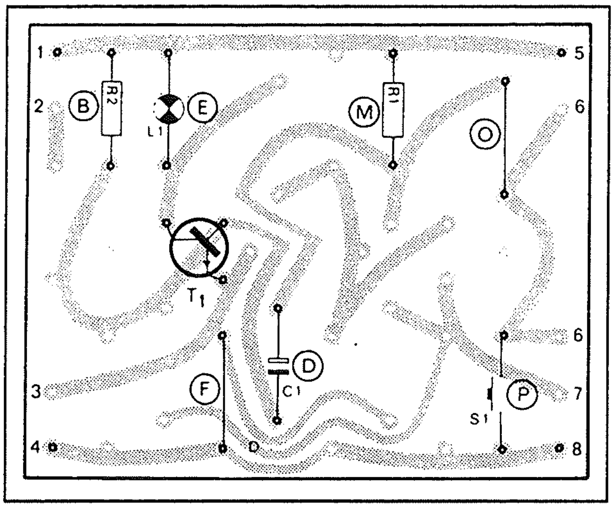
Deze stroom zorgt ervoor dat de condensator ontladen wordt. De negatieve spanning op de rechter plaat gaat dan, afhankelijk van de grootte van de stroom, langzaam dalen tot nul. Duidelijk ziet men dat in de grafiek van de uitgangsspanning weergegeven. Na een bepaalde tijd T is de uitgangsspanning nul en is de schakeling in rust. Hoelang die tijd T duurt is afhankelijk van de waarde van de weerstand R en van de grootte van de condensator C. Hoe groter beide onderdelen, hoe langer het duurt alvorens alle lading is weggevloeid.

Besluit van dit verhaal is, dat men door de differentiator een plotselinge verandering (de puls) heeft omgevormd in een bepaalde tijdsduur T.



Figuur 3/99.2-5: Het eerste experiment, waarmee de werking van een differentiator experimenteel kan worden gedemonstreerd.

99.2 Knipperlicht

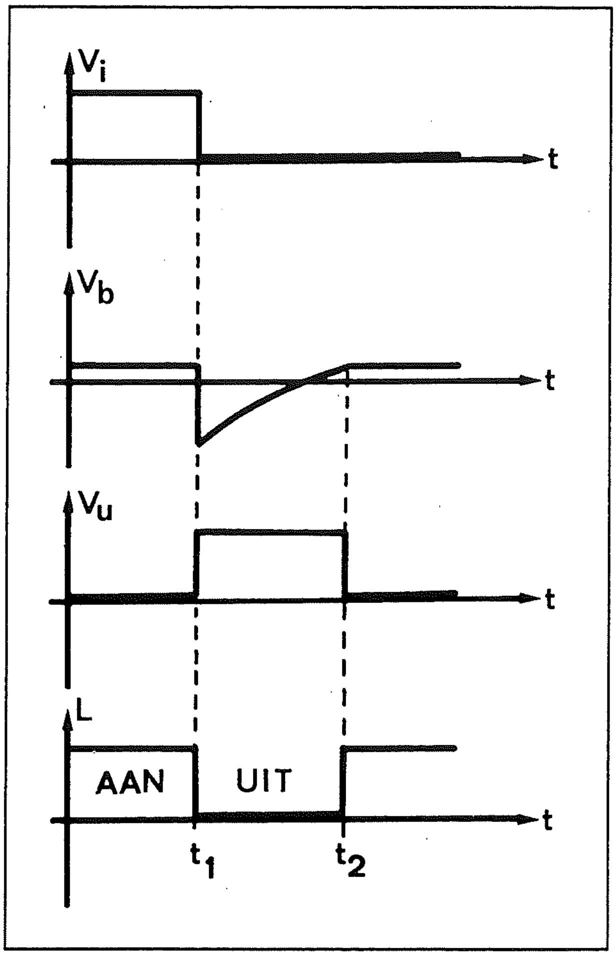


Figuur 3/99.2-6: De experimentele schakeling wordt op deze manier op de experimenteerprint opgebouwd.

Het eerste experiment

De verklaring van de werking van een differentiator kan op een eenvoudige manier aanschouwelijk worden gemaakt door middel van een experiment.

Dus even het schakelingetje van figuur 3/99.2-5 opgebouwd op de universele experimenteerprint. De kring van figuur 3/99.2-4 is hier opgebouwd uit de elementen R1, C1 en R2. Door middel van de transistor T1 en het lampje L1 kan de werking van de schakeling beoordeeld worden. De drukknop S1 zal, als hij wordt ingedrukt, de plotselinge spanningssprong van +V naar 0 V veroorzaken. Hoe dit experiment op de universele experimenteerprint opgebouwd wordt, toont figuur 3/99.2-6. De 6 V batterij wordt met de positieve pool met aansluiting 1 verbonden en met de negatieve met aansluiting 4. Het lampje zal nu branden. Geen wonder natuurlijk, want de basis van de transistor is door middel van weerstand R2 met de voeding verbonden, zodat de halfgeleider in verzadiging gestuurd wordt.

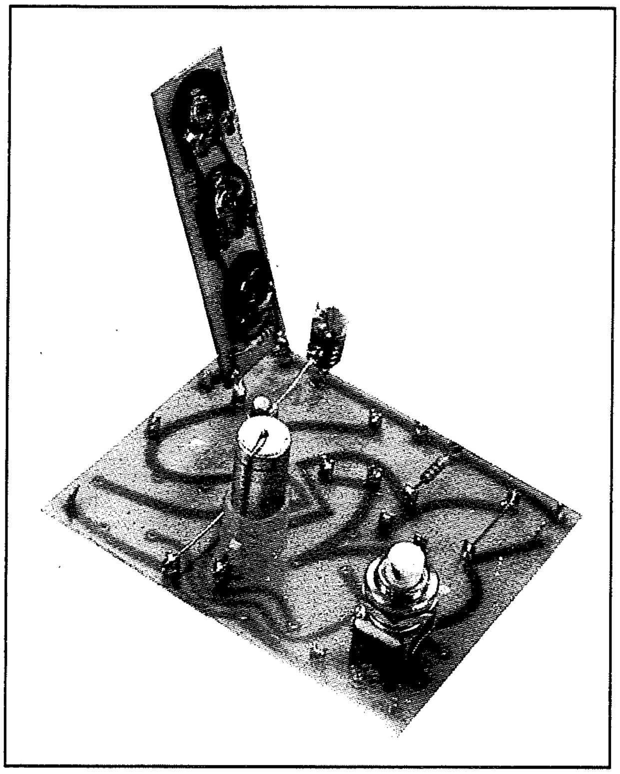


Figuur 3/99.2-7: De spanningen die op de belangrijke punten van de schakeling van figuur 3/99.2-5 optreden.

De werking zal, dank zij de grafieken in figuur 3/99.2-7, gemakkelijk te doorgronden zijn. De linker plaat van de condensator C1 wordt via weerstand R1 met de voeding verbonden. De ingangsspanning V_{in} is dus +V, als men even de 6 V voedingsspanning voorstelt door het algemene symbool V. De basis van de halfgeleider staat op 0,7 V, de basis-emitterspanning van een geleidende siliciumtransistor. De uitgangsspanning V_{uit} is 0 V (transistor in verzadiging), het lampje brandt. Als men nu de drukknop S1 indrukt (en ingedrukt houdt), dan wordt de ingangsspanning

met massa verbonden en ontstaat de gewenste spanningssprong. De rest is duidelijk: de differentiator C1-R2 laat deze negatieve sprong ongemoeid door, de basisspanning wordt opeens met een bedrag -V verlaagd, de transistor spert, het lampje gaat doven. De condensator gaat zich nu ontladen via R1 en R2. Na een bepaalde tijd T wordt de basisspanning weer gelijk aan 0,7 V. De transistor geleidt en het lampje brandt weer.
Als men met de schakeling wil experimenteren, dan moet op de plaats B geen vaste weerstand worden opgenomen, maar het trimmerprintje. Hoe de experimenteeropstelling er dan uit ziet, is voorgesteld in de foto van figuur 3/99.2-8. Duidelijk blijkt dan, hoe men de tijd T kan variëren door min of meer weerstand tussen de voeding en de basis van de transistor te schakelen. Als men de weerstand te groot maakt, dan zal men zien dat het lampje niet meer zo enthousiast gaat branden. De weerstand is dan zo groot geworden, dat de transistor niet helemaal in verzadiging gestuurd wordt. Een belangrijke conclusie uit deze experimenten is dus dat bij het ontwerpen van dergelijke schakelingen de basisweerstand steeds zo gekozen moet worden, dat de transistor volledig in verzadiging gestuurd wordt.

Terug naar de schakeling
Als men het schakelingetje van figuur 3/99.2-5 vergelijkt met het a-stabiele multivibratorschema van figuur 3/99.2-1, dan stelt men een opmerkelijke overeenkomst vast. Het differentiërend netwerk R1-C1-R2 uit figuur 3/99.2-5 is tweemaal aanwezig in het hoofdschema, verborgen namelijk in de kringen L1-C1-R2 en L2-C2-R1. De functie van de schakelaar S1 uit figuur 3/99.2-5 wordt uiteraard overgenomen door de twee transistoren.



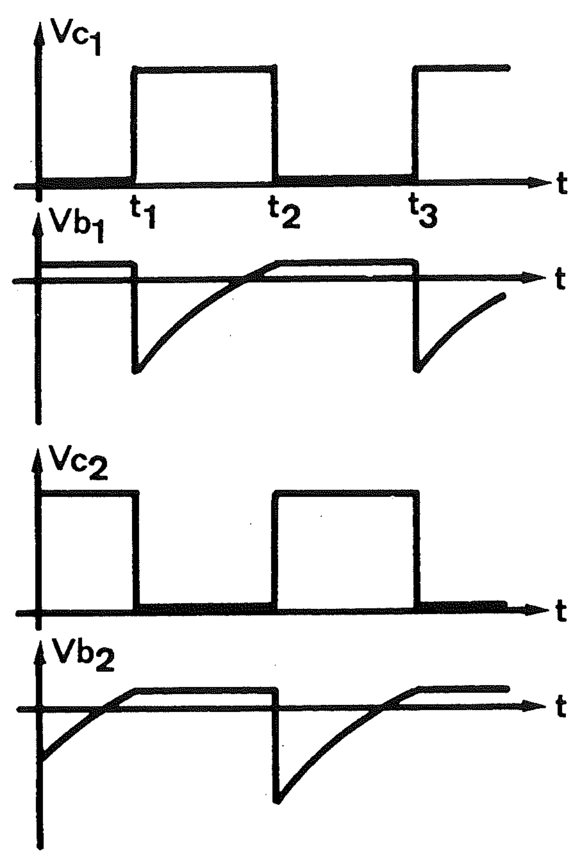
Figuur 3/99.2-8: De experimenteeropstelling, waarbij men de vaste weerstand R2 vervangen heeft door de potentiometerprint.

Wat brengt de schakeling aan het oscilleren? Wel, gewoon de heel erg menselijke eigenschap, dat er geen twee transistoren bestaan die helemaal dezelfde karakteristieken hebben. Als men twee transistoren in de schakeling van figuur 3/99.2-1 opneemt en men schakelt de voedingsspanning aan, dan willen beide halfgeleiders gaan geleiden. Hun basissen zijn immers via de weerstanden R1 en R2 met de voedingsspanning verbonden. Net zoals er geen twee mensen op de wereld zijn, die even snel op een plotselinge gebeurtenis reageren, zo zijn er geen twee transistoren, die even snel gaan geleiden. Een van de halfgeleiders, stel T1, gaat dus het eerst in verzadiging komen. Welnu, deze transistor fungeert dan als schakelaar S1 uit figuur 3/99.2-5 voor zijn wat slomer

99.2 Knipperlicht

broertje T2. Het in geleiding komen van T1 kan immers opgevat worden als het drukken op S1! Door de reeds uitvoerig beschreven differentiatorwerking gaat de tweede transistor gedurende een tijd T sperren. Als deze tijd voorbij is, gaat deze halfgeleider geleiden (vergelijk met de grafieken in figuur 3/99.2-6). Nu gaat deze tweede transistor de rol vervullen van drukschakelaar, die de differentiekring van T1 (C2-R1) stuurt met een puls. Gevolg is dat deze transistor nu een tijd T gaat sperren. Na deze tijd keren de rollen om en begint alles weer van voren af aan. Besluit is dat beide transistoren afwisselend een tijd T gaan sperren en geleiden. Daar de collectorbelastingen gevormd worden door lampjes, zullen deze dus eveneens afwisselend doven en branden. In de grafieken van figuur 3/99.2-9 is het spanningsverloop op alle belangrijke punten nog eens getekend.
Tot slot enige nuttige gegevens. Een volledige cyclus heet een periode. De periode wordt uitgedrukt in seconde en is de som van de tijd dat het lampje brandt en de tijd dat het gedoofd is. Het aantal perioden, dat op één seconde doorlopen wordt, is de frequentie. Die grootheid wordt uiteraard uitgedrukt in Hz (Hertz). Als men dus zegt, dat een a-stabiele multivibrator oscilleert met een frequentie van 100 Hz, dan wil dit zeggen dat de transistoren van de schakeling 100 keer per seconde gaan geleiden en sperren.

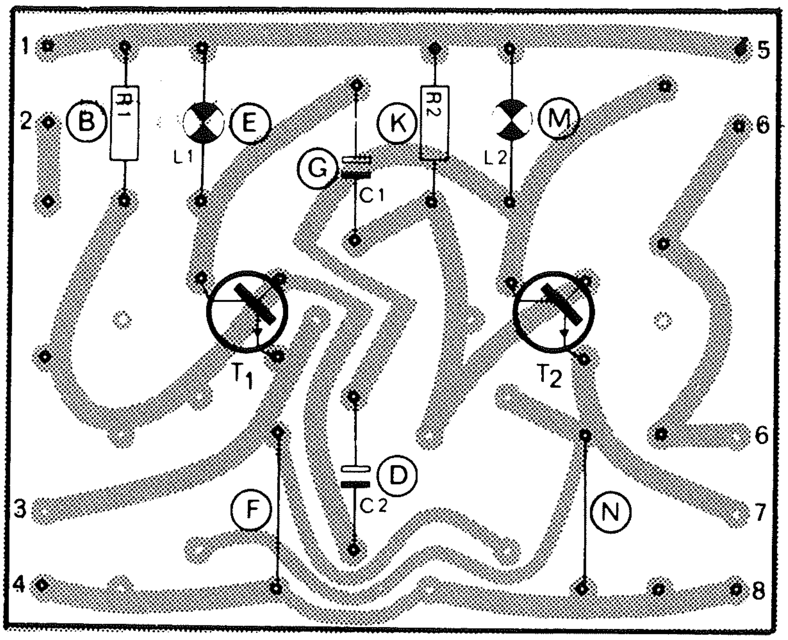
De praktijk
De theoretische uitleg van de werking van de schakeling was, zeker in een hoofdstuk die op het experimenteren gericht is, nogal lang. De a-stabiele multivibrator is echter een basisschakeling en de werking van een heleboel schakelingen kan afgeleid worden van deze van de multivibrator.



Figuur 3/99.2-9: De typische spanningsvormen van een a-stabiele multivibrator.

De volledige bedrading van de knipperlichtschakeling op de experimenteerprint is in figuur 3/99.2-10 getekend. Op enige plaatsen worden soldeerlipjes gesoldeerd, waar nu nog geen onderdelen komen. Als in latere hoofdstukken deze print gecombineerd wordt met andere schakelingen, komen deze zeer van pas. Voor de rest is de daad aan de lezer/er! Men kan stoeien met het vervangen van de weerstanden en de condensatoren. Denk er echter wel aan, dat de transistoren gevrijwaard willen blijven van collectorstromen, groter dan 100 mA.

99.2 Knipperlicht



Figuur 3/99.2-10: De knipperlichtcentrale op de experimenteerprint. De lampjes zijn mechanisch kwetsbaar en moeten dus met de nodige voorzichtigheid op de soldeerlipjes gesoldeerd worden.

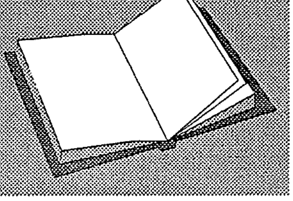
3/99.3

Elektronische zoemer

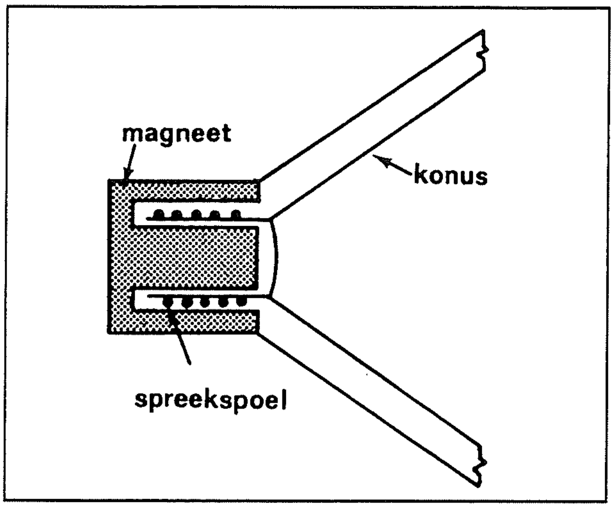
Inleiding
In het tweede hoofdstuk van deze "leer het door het zelf te doen"-serie is aangetoond hoe een knipperlicht kan opgebouwd worden met een astabiele multivibrator. In dit derde hoofdstuk zal blijken dat dezelfde schakeling ook zeer geschikt is voor het elektronisch opwekken van geluid. De elektronische zoemer is volledig identiek van opbouw aan het knipperlicht, alleen hebben de onderdelen andere waarden. Bij de experimenten in deze aflevering heeft men een hoogohmig luidsprekertje nodig. Dergelijke luidsprekers zijn goedkoop, hebben een conusdoorsnede van ongeveer 8 centimeter en een impedantie van 150 Ω.
Bij het experimenteren met deze schakelingen kan men veel plezier beleven aan een setje verbindingsdraadjes met aan beide uiteinden miniatuur krokodilklemmetjes. Deze zijn voor een habbekrats per tien in de handel verkrijgbaar. Men kan dan de 6 V voeding (of batterij), de luidspreker en de printjes onderling verbinden zonder te solderen.

Eerste experiment
Eén aansluiting van de luidspreker wordt verbonden met één pool van de 6 volt voeding. Nu raakt men met een tweede draadje, dat verbonden is met de tweede aansluiting van de luidspreker, even de tweede pool van de voeding aan. Men hoort een tik. In figuur 3/99.3-1 is de schematische opbouw van een luidspreker getekend. Een op een kartonnen kokertje gewikkelde spoel, de zogenoemde spreekspoel, kan vrij bewegen tussen de noord- en de zuidpool van een permanente magneet. Aan die spreekspoel is de conus (dit is de trechtervormige constructie) verbonden. De conus is met het metalen huis van de luidspreker verbonden door middel van een soepele, verende rand. Als de spreekspoel met een spanning verbonden wordt, dan wordt er in die spoel een magnetisch veld opgewekt. Dat is een van de basisgegevens van de elektriciteit.
Maar in de buurt van de spreekspoel is al een sterk magnetisch veld aanwezig, namelijk dat van de permanente magneet. Een tweede basisgegeven van de elektriciteitsleer is dat twee magnetische velden op elkaar inwerken. Gelijknamige polen stoten elkaar af, tegengestelde polen trekken

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/99.1
Hoofdstuk 3/99.2
Hoofdstuk 3/12.8
Hoofdstuk 4/2.2
Hoofdstuk 4/2.4



elkaar aan. Afhankelijk van de stroomrichting door de spreekspoel, zal deze spoel dus dieper in de permanente magneet of net uit de permanente magneet getrokken worden. De conus gaat dus eveneens bewegen en de luchtverplaatsing, die daarvan het gevolg is, veroorzaakt de hoorbare tik.



Figuur 3/99.3-1: Schematische opbouw van een luidspreker.

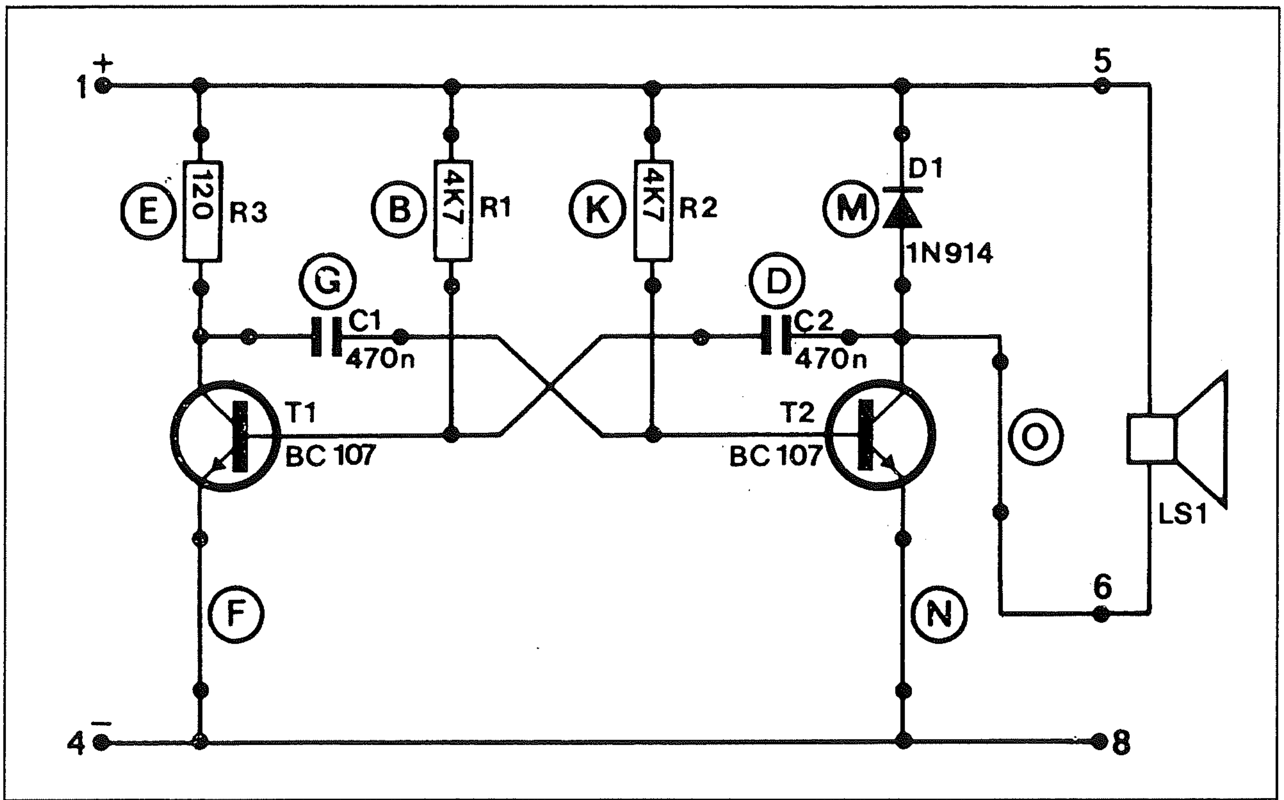
Tweede experiment

Voor dit experiment heeft men de schakeling van figuur 3/99.2-10 uit het vorige hoofdstuk nodig. Op de plaats O wordt een draadbruggetje op de print gesoldeerd. Als de schakeling met de voeding wordt verbonden, dan zullen de lampjes uiteraard gaan knipperen. Als men nu tussen de punten 5 en 6 het luidsprekertje aansluit, dan zal daaruit, telkens als het lampje L2 oplicht, een luide tik opstijgen. Dit is natuurlijk logisch. Door de multivibratorwerking wordt over het lampje L2 en dus ook over de luidspreker afwisselend de voedingsspanning en 0 V gezet. Wat in het eerste experiment met de hand werd gedaan, gebeurt hier elektronisch. Er wordt nu al wel elektronisch geluid opgewekt, maar dat monotoon getokketok uit de luidspreker is nog ver verwijderd van een mooie toon. Het zal echter duidelijk zijn dat het volstaat de frequentie van de multivibrator op te voeren om het getik te laten overgaan in een brom, en bij nog meer opvoeren van de frequentie in het gewenste gezoem.

Derde experiment

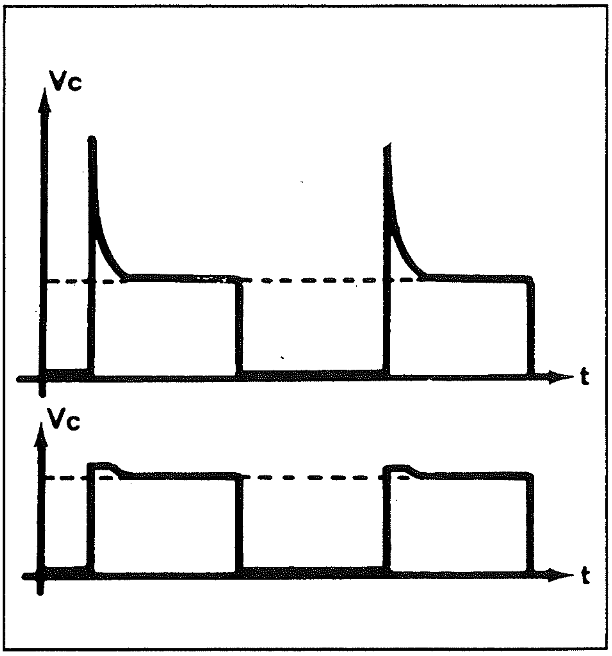
Zoals reeds geschreven in hoofdstuk 3/99.2 kan de frequentie van de multivibrator verhoogd worden door de waarde van de beide condensatoren C1 en C2 te verkleinen. Men zou dat dus zonder meer kunnen doen op het printje van het vorige hoofdstuk. Wie echter de experimenten van hoofdstuk 3/99.4 wil uitvoeren, waarin een elektronische sirene wordt gebouwd, heeft de knipperlichtcentrale daarbij nodig. Beter is dus op een tweede identiek printje de schakeling van figuur 3/99.3-2 op te bouwen.
In deze figuur herkent men zonder meer het schema van een astabiele multivibrator. Uiteraard zijn de lampjes in de collectoren nu vervangen door een luidspreker en een weerstand met ongeveer dezelfde waarde als die van de luidspreker. Men zal zich natuurlijk afvragen wat de diode D1 doet op plaats M. Hiervoor kan men trouwens gelijk welke silicium-diode gebruiken, zoals een 1N4148 of 1N4004. Een luidspreker is in principe een spoel. Een algemene eigenschap van spoelen is dat zij zich verzetten tegen het onderbreken van de stroom, die er doorheen loopt. Ze doen dat door het opwekken van spanningspieken. Die pieken, die dus ontstaan in de collectorleiding van T2, telkens als de luidspreker wordt afgeschakeld, kunnen zelfs zo groot worden dat zij de transistor T2 kunnen vernielen. De diode D1 sluit deze pieken kort.

99.3 Elektronische zoemer



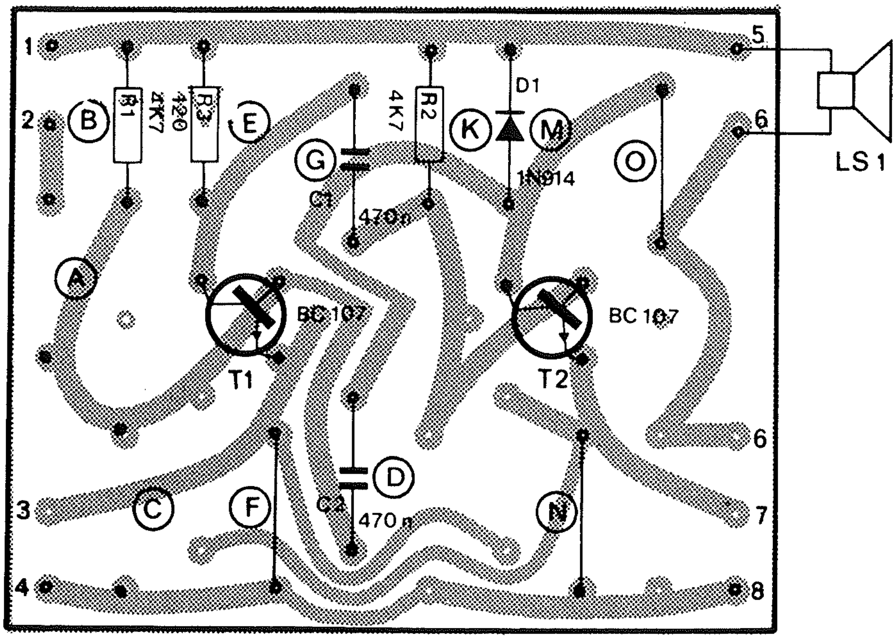
Figuur 3/99.3-2: De schakeling van de elektronische zoemer.

De collectorspanning van T2 kan nu nooit positiever worden dan de voedingsspanning. De invloed van de diode op de schakeling volgt uit figuur 3/99.3-3. In de bovenste grafiek is de collectorspanning van T2 getekend zonder de diode. Men herkent de spanningspieken die ontstaan door het inductief karakter van het spoeltje in de luidspreker. In de onderste grafiek is de collectorspanning getekend mét diode D1. Op het moment dat de collectorspanning 0,7 V groter wordt dan de voedingsspanning gaat de diode geleiden. De spanning die door de spoel wordt opgewekt, wordt nu kortgesloten over de lage inwendige weerstand van de voeding. Bij het aansluiten van de voedingsspanning produceert de luidspreker een mooie toon van ongeveer 320 Hz. Hetzelfde resultaat zou men bij het eerste experiment kunnen bereiken, door die ene draad 320 keer per sekonde met de pool van de batterij in kontakt te brengen.



Figuur 3/99.3-3: De functie van de diode D1.

99.3 Elektronische zoemer



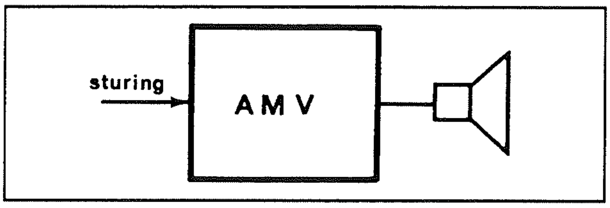
Figuur 3/99.3-4: De opbouw van het schema van de elektronische zoemer op de experimenteerprint.

De conus gaat dus 320 keer per sekonde heen en weer bewegen en dat wordt door ons gehoor ervaren als een mooie zoemtoon. Uiteraard is de toonhoogte te variëren door het wijzigen van de frequentie. Men zou dus de weerstanden op B en K kunnen vervangen door de trimmerprintjes. Bij verdraaien van de potentiometertjes stelt men vast dat de frequentie over een breed gebied regelbaar is: van ongeveer 100 Hz tot ongeveer 2,5 kHz. Men zal bij dit experiment opmerken dat de frequentie reeds verandert, als men één van beide basisweerstand verdraait. Dat is logisch, want iedere basisweerstand beïnvloedt één helft van de volledige periode van de astabiele multivibrator.
De opbouw van de schakeling op de experimenteerprint is getekend in figuur 3/99.3-4.

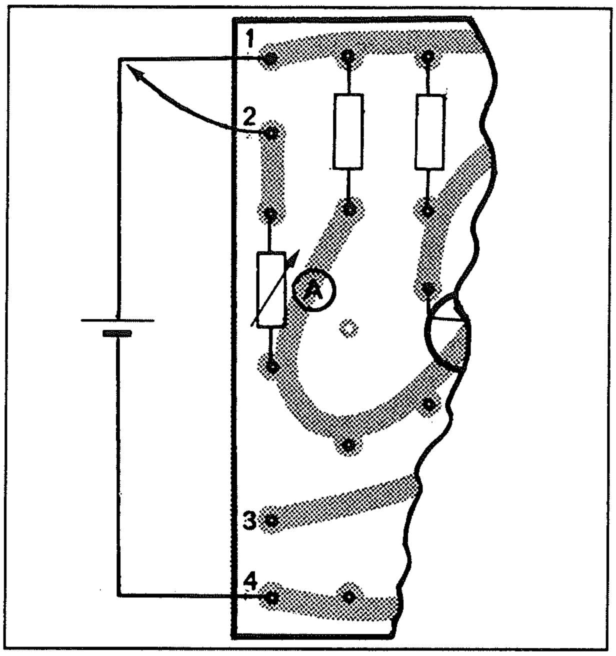
Vierde experiment
De basisweerstanden op de punten B en K worden nu weer vervangen door vaste weerstanden van 4,7 kΩ. Volgend experiment is het onderzoek naar wat er gebeurt als men de basis van transistor T1 kortsluit naar de massa. Dat kan door een draadje te klemmen tussen de punten van onderdeel C. Men stelt vast dat de zoemer dadelijk stil valt. Dat is interessant, want op deze manier is dus een methode gevonden om de generator te stoppen, zonder dat daarvoor de voedingsspanning uitgeschakeld moet worden. In hoofdstuk 3/99.4 zal hiervan gebruik gemaakt worden om een stuurbare zoemer te maken. Men heeft nu dus immers als het ware een "stuuringang" geïntroduceerd. Dat begrip "stuuringang" wordt vaak gebruikt in elektronische schakelingen. Zoals de naam al

99.3 Elektronische zoemer

zegt, kan men met een stuuringang een bepaalde schakeling sturen door een extern signaal. In dit geval is dat extern signaal het op massapotentiaal brengen van de basis van T1. In een blokschema wordt een stuuringang voorgesteld zoals in figuur 3/99.3-5 is getekend. Het pijltje, dat naar het blokje van de astabiele multivibrator wijst, duidt erop dat dit stuursignaal van "ergens" toegevoerd wordt aan de multivibrator.
Als men het draadje weer verwijdert, start de schakeling opnieuw.



Figuur 3/99.3-5: De symbolische voorstelling van de stuuringang van een schakeling.



Figuur 3/99.3-6: Met dit experiment wordt aangetoond hoe men de frequentie van de zoemer met een externe stuurspanning kan variëren.

Vijfde experiment
In dit experiment wordt de zoemer op een andere manier gestuurd met een extern signaal. Op de plaats van onderdeel A wordt een trimmerprintje gesoldeerd, zoals in figuur 3/99.3-6 is getekend. De aansluiting 2 wordt verbonden met een draadje. Als men nu punt 1 met de voeding verbindt, dan zal de oscillator uiteraard het reeds bekende monotone toontje opwekken. Nu verbindt men het draadje dat naar punt 2 gaat eveneens met de voeding. Opeens gaat de toonhoogte van het geluid veranderen.

De grootte van die variatie is in te stellen door het verdraaien van de potentiometers op het trimmerprintje. Dat is natuurlijk logisch, want in feite heeft men niets anders gedaan dan over de basisweerstand een extra weerstand parallel zetten. Het interessante van dit experiment is dat een methode is gevonden waarmee de frequentie van de astabiele multivibrator gevarieerd kan worden door op een stuuringang een spanning aan te sluiten. In het volgende hoofdstuk wordt deze kennis gebruikt voor het samenstellen van onder andere een elektronische sirene.

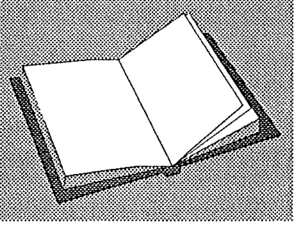
99.3 Elektronische zoemer

3/99.4
Elektronische sirene

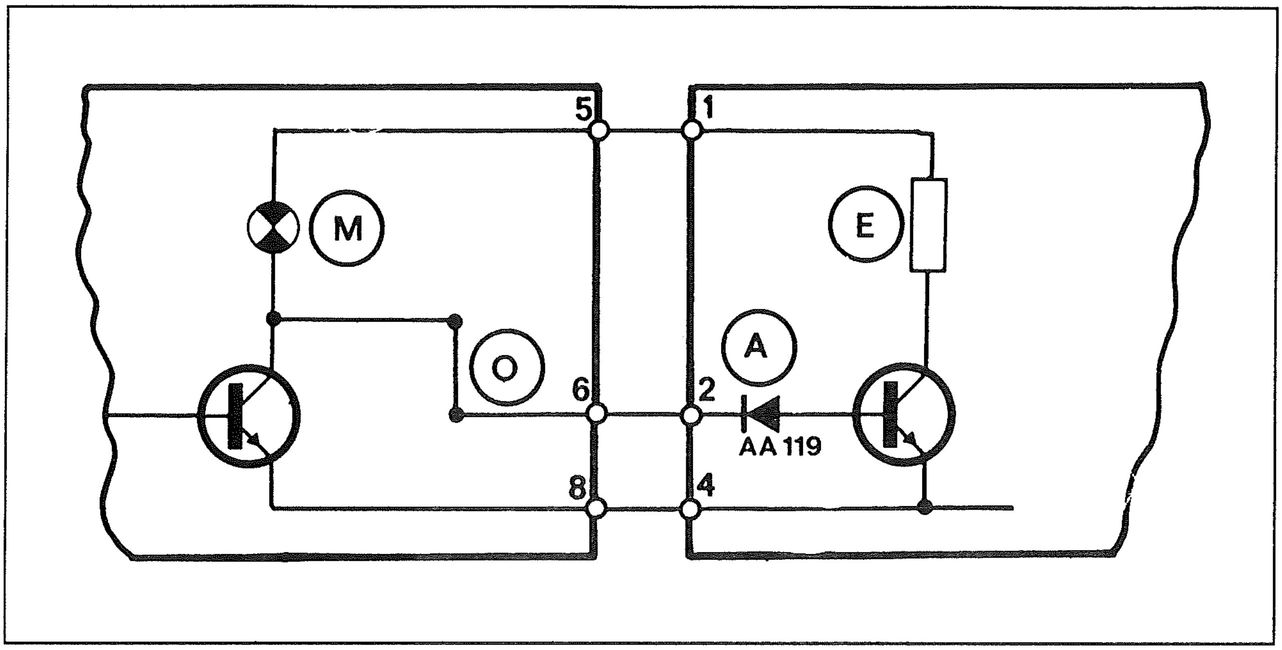
Inleiding
In het vorige hoofdstuk is een elektronische zoemer opgebouwd. Bovendien werd aangetoond hoe zo'n schakeling in principe bestuurbaar is door externe signalen. In deze aflevering wordt die externe besturing in de praktijk gebracht. Bij deze experimenten heeft men de reeds in elkaar gesoldeerde schakelingen van het knipperlicht en de zoemer nodig, opgebouwd volgens de figuren 3/99.2-10 en 3/99.3-4 van de vorige hoofdstukken.

Experiment 1
De twee printjes worden naast elkaar gezet en door middel van drie kleine draadjes worden de punten 5, 6 en 8 van het knipperlicht verbonden met respectievelijk de punten 1, 2 en 4 van de zoemer. Op de plaats van het onderdeel O van het knipperlicht komt een draadbruggetje. Op de plaats van het onderdeel A van de zoemer komt een germaniumdiode, zoals een AA119. Een en ander wordt voorgesteld in figuur 3/99.4.1. Als de schakeling nu met de voeding verbonden wordt, dan zal de zoemer intermitterend gaan werken. Telkens als het lampje L2 gaat branden, zal de zoemer ophouden met werken. Dat is zeer eenvoudig te verklaren. Zoals men weet is de voornaamste eigenschap van de astabiele multivibrator, dat de transistoren afwisselend gaan sperren en geleiden. Als transistor T2 van het knipperlicht spert, dan brandt L2 niet want de collectorspanning is hoog. De extra diode spert dan, want de kathode is positiever dan de anode. De werking van de zoemer wordt niet beïnvloedt door het knipperlicht. Als transistor T2 van het knipperlicht gaat geleiden, dan wordt zijn collectorspanning nul. De diode gaat nu wél geleiden en de basis van transistor T1 van de zoemer wordt met massa verbonden, via de geleidende transistor. Zoals in het vierde experiment van het vorig hoofdstuk werd beschreven, zal de zoemer dan ophouden met werken. Het verband tussen de werking van het knipperlicht en de werking van de zoemer kan grafisch worden voorgesteld door de tijdgrafieken van figuur 3/99.4-2.

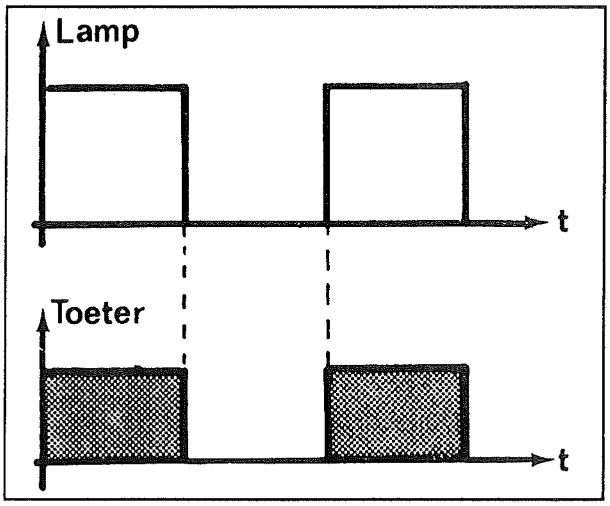
LEES OOK:
Hoofdstuk 3/99.2
Hoofdstuk 3/99.3
Hoofdstuk 4/2.4
Hoofdstuk 4/2.10



99.4 Elektronische sirene



Figuur 3/99.4-1: De twee printen worden volgens dit schema met elkaar verbonden (experiment 1).



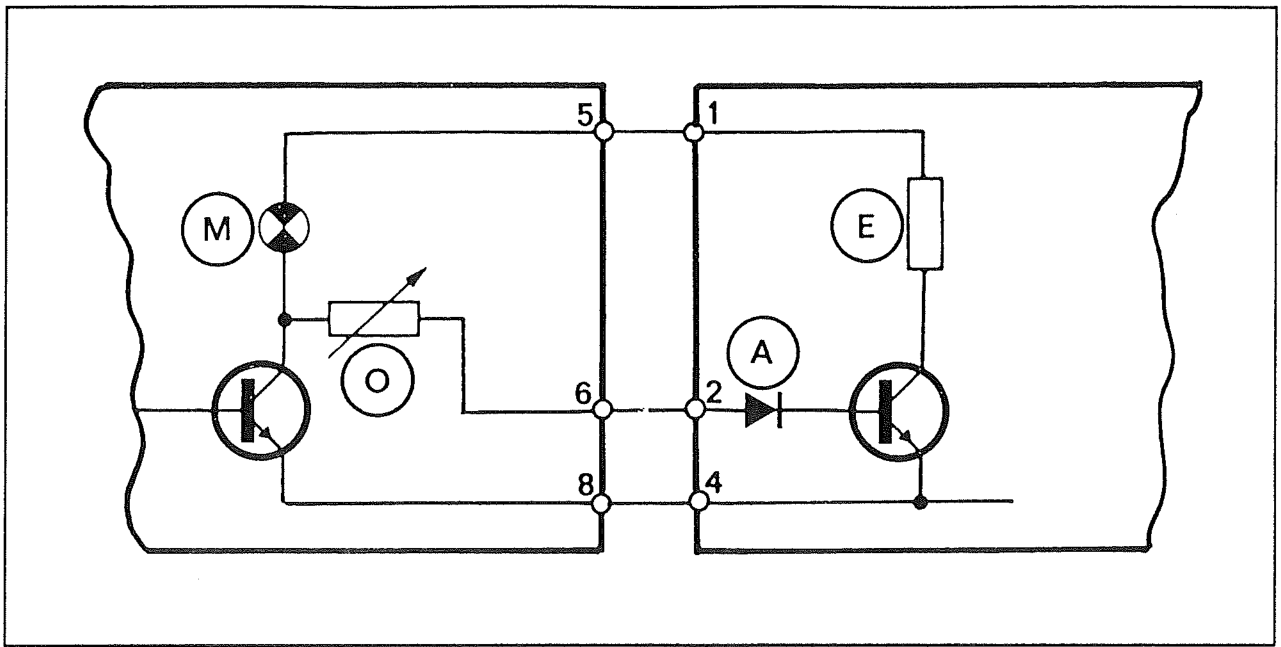
Figuur 3/99.4-2: Het verband tussen de werking van het knipperlicht en de werking van de zoemer grafisch voorgesteld (experiment 1).

Experiment 2

De germaniumdiode van het vorige experiment wordt nu omgepoold en het draadbruggetje op plaats O van het knipperlicht wordt vervangen door een potentiometerprintje, zoals schematisch in figuur 3/99.4-3 getekend is. Bij het aanschakelen van de voedingsspanning blijkt dat er nu een tweetonig acoustisch alarm is ontstaan. Door verdraaien van de instelpotentiometers op het printje is het mogelijk een vrij realistische benadering te krijgen van het geluid van de sirene van een brandweerwagen.

Het hoe van deze schakeling zal duidelijk zijn. Net zoals in het vijfde experiment van het vorig hoofdstuk wordt de basisweerstand van de eerste transistor van de toeter overbrugd door een tweede, die door het knipperlicht al dan niet met de voedingsspanning verbonden wordt. Spert de tweede transistor van het knipperlicht, dan is zijn collectorspanning hoog en het trimmerprintje wordt via de diode parallel geschakeld aan de "inwendige" basisweerstand van de eerste transistor van de zoemer. Die gaat dus op een hogere frequentie oscilleren, hetgeen hoorbaar is als een hogere toonhoogte. Geleidt de knipperlicht transistor, dan is zijn collectorspanning nul.

99.4 Elektronische sirene



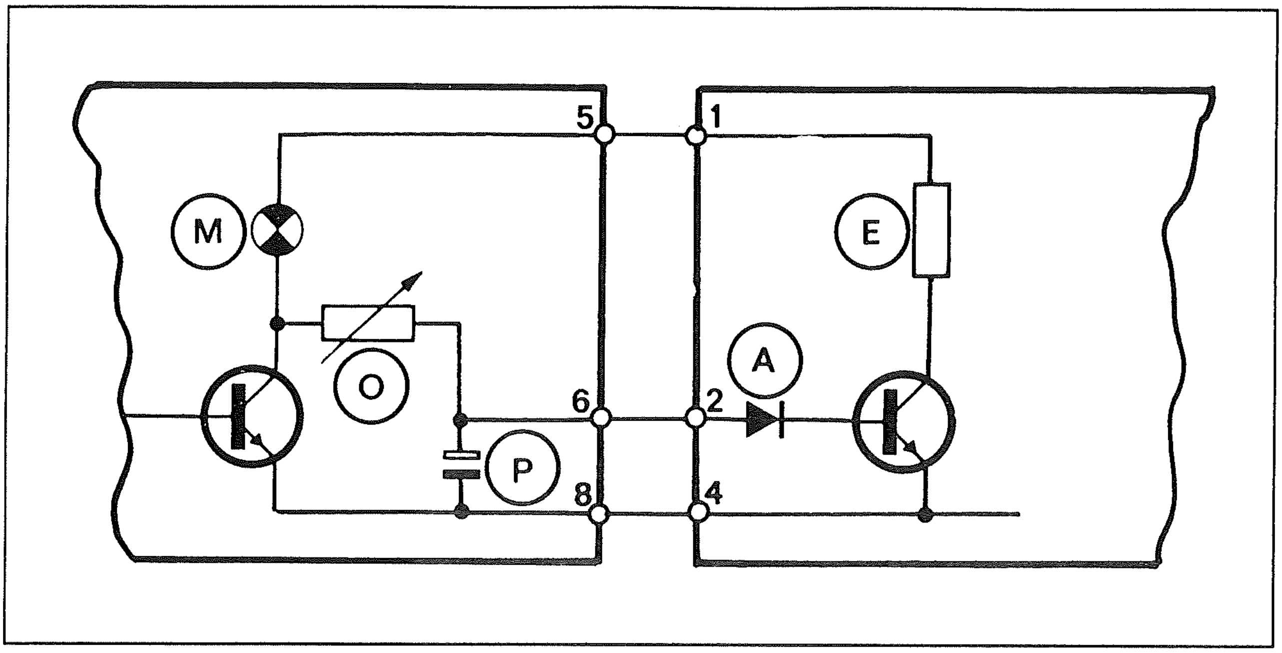
Figuur 3/99.4-3: De bedrading voor het tweetonig alarm (experiment 2).

De diode spert (de anode staat op 0 V maar de kathode is ongeveer 0,65 V positief, zijnde de geleidingsspanning van de eerste zoemer transistor) en de trimmerweerstanden hebben geen invloed op het getoeter.

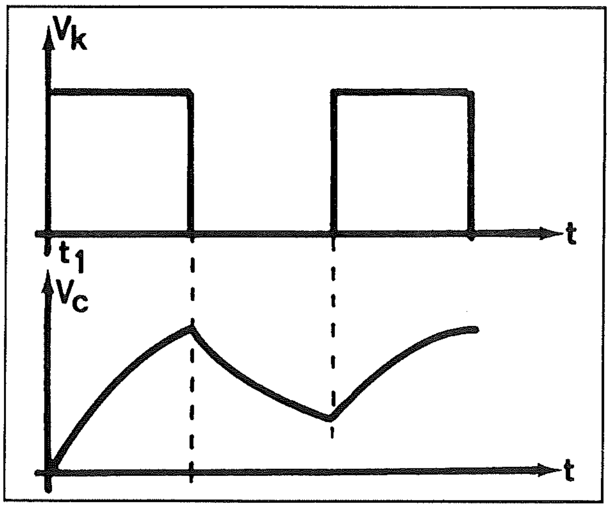
Experiment 3
Het tweetonig alarm uit het vorige experiment wordt nu omgebouwd tot een heuse sirene. Dat gaat zeer eenvoudig. Het volstaat een elco van 470 µF te schakelen tussen het knooppunt van het trimmerprintje en de diode en de massa. Schematisch is dit voorgesteld in figuur 3/99.4-4. Die elco komt op de plaats van het onderdeel P op het knipperlicht printje. Let op de polariteit! Wel is het nodig de frequentie van het knipperlicht te verlagen. Dat kan door de twee 2,2 kΩ op dát printje te vervangen door weerstanden van 8,2 kΩ. Als men nu de schakeling met de voeding verbindt, dan zal de frequentie van de opgewekte toon continu toenemen en afnemen, net zoals bij een echte sirene.

Hoe komt dat? Wel, door het bijvoegen van de elco wordt de trimmerweerstand nu niet meer abrupt parallel geschakeld met de in de zoemer ingebouwde basisweerstand. In figuur 3/99.4-5 is dit grafisch voorgesteld. De collectorspanning van de tweede transistor van het knipperlicht springt nog steeds fluks van nul naar de voedingsspanning en omgekeerd. Het netwerkje, gevormd door het trimmerprintje en de elco, vormt een zogenoemde integrator. Als de collectorspanning hoog wordt, op tijdstip t1, dan zal de elco zich langzaam gaan opladen via de weerstand van het trimmerprintje. Deze langzaam variërende spanning wordt via de diode doorgekoppeld naar de basis van de eerste transistor van de zoemer. De invloed van die langzaam variërende spanning op de zoemer komt overeen met het langzaam verdraaien van de weerstandjes op de trimmerprint. Ook dan kan men een soort sirene effekt verkrijgen, maar deze automatische methode is natuurlijk veel handiger!

99.4 Elektronische sirene



Figuur 3/99.4-4: Met deze extra onderdelen ontstaat een elektronische sirene (experiment 3).



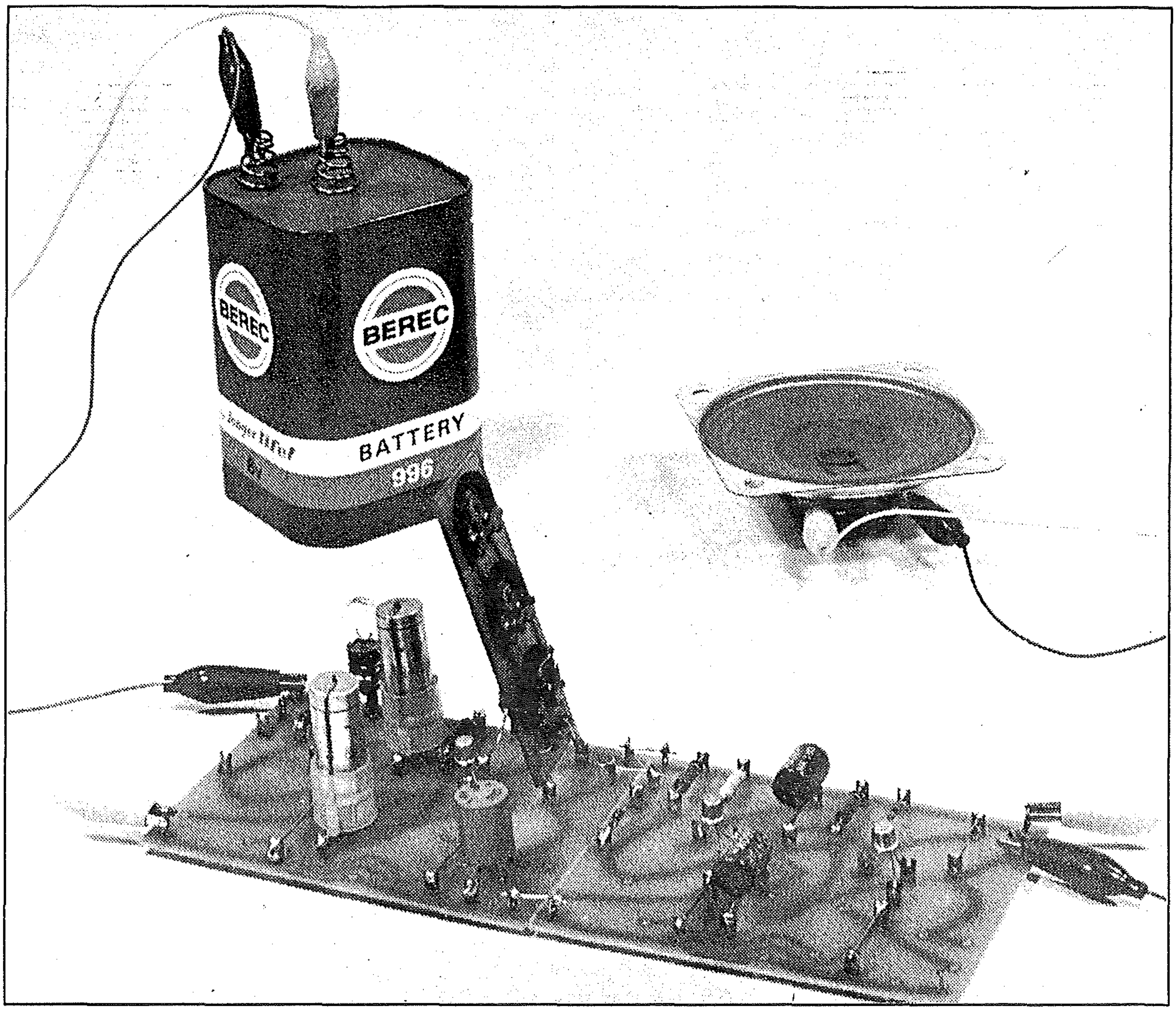
Figuur 3/99.4-5: Grafische voorstelling van de werking van een integrator.

Conclusies

Uit de beschreven experimenten kan men een aantal conclusies trekken.

- Heeft men ergens in een schakeling een langzaam stijgende en dalende spanning nodig, dan doet men beroep op een astabiele multivibrator. De uitgangsspanning van deze schakeling wordt toegevoerd aan een integrator, samengesteld uit een weerstand en een condensator. De spanning over de condensator zal dan aan de gestelde eisen voldoen.
- Een diode is een ideaal onderdeel om twee blokken van elkaar te scheiden. In de beschreven experimenten werkt de Ge-diode als koppelelement, maar ook als scheidingselement. Op het moment dat het knipperlicht de zoemer moet beïnvloeden gaat de diode geleiden. Als deze beïnvloeding niet gewenst is gaat de diode sperren en staan de twee schakelingen als het ware volledig los van elkaar.
- Men moet steeds rekening houden met eigenschappen van onderdelen, die niet zo voor de hand liggen. In de beschreven experimenten wordt een oude germanium diode toegepast. In het eerste experiment is dat een absolute voorwaarde. Over een geleidende diode valt een bepaalde geleidingsspanning.

99.4 Elektronische sirene



Figuur 3/99.4-6: De elektronische sirene op de twee experimenteerprintjes.

– Voor silicium ligt deze spanning rond de 0,65 V, voor germanium rond de 0,4 V. Zou men in dit experiment de Ge-diode vervangen door een Si-exemplaar, dan kan men er niet zeker van zijn dat de eerste transistor van de zoemer in sper wordt gestuurd op het moment dat de diode gaat geleiden. De 0,65 V geleidingsspanning van de Si-diode ligt immers akelig dicht in de buurt van de geleidingsspanning van een Si-transistor!

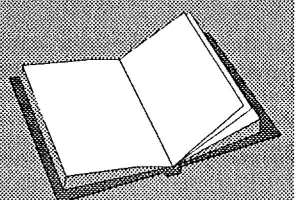
99.4 Elektronische sirene

3/99.5
Flip-flop

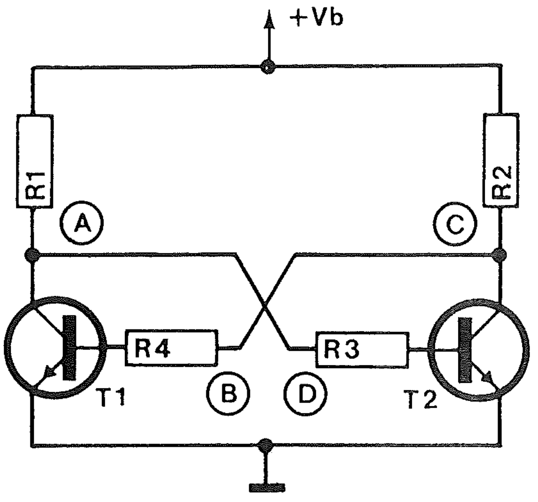
Inleiding
Een flip-flop of bi-stabiele multivibrator is een schakeling die is opgebouwd uit twee transistortrappen die, net zoals de eerder besproken a-stabiele multivibrator, onderling zijn gekoppeld. Daar waar bij de a-stabiele schakeling deze koppeling capacitief was, dus opgebouwd uit twee condensatoren, is deze koppeling bij de bistabiele multivibrator resistief, dus opgebouwd uit weerstanden. Het gevolg is dat de schakeling niet spontaan van zijn ene toestand naar de andere zal overschakelen, maar dit alleen zal doen op commando van een signaal, dat aan de schakeling wordt aangeboden. Dank zij deze eigenschap, kan men de flip-flop gebruiken als elektronisch geheugen. De schakeling is in staat een korte, eenmalige puls te "onthouden", te registreren. Daar de meeste digitale apparaten voor een groot gedeelte zijn opgebouwd uit geheugenelementen, is het duidelijk dat deze in wezen zeer eenvoudige flip-flop niet meer weg te denken is uit de moderne elektronica. In een gemiddelde computer zitten miljoenen flip-flop's! In dit hoofdstuk zal ook iets geschreven worden over een van de voornaamste toepassingen van de flip-flop, namelijk het gebruik van de schakeling als deler van frequenties. Op dit principe werken alle tellende elektronische schakelingen, zoals digitale meters in allerlei vormen en uitvoeringen.

De basisschakeling van een flip-flop
In figuur 3/99.5-1 is het allerprincipieelste basisschema van een flip-flop getekend. De twee transistoren T1 en T2 zijn in feite geschakeld als gewone elektronische schakelaars. De belasting van de eerste transistor is de weerstand R1, de belasting van de tweede transistor is de weerstand R2. De eerste transistor (T1) wordt in geleiding of sper gestuurd door het signaal op de basisweerstand R4. Het vreemde van deze schakeling is dat die basisweerstand verbonden is met de belastingsweerstand R2 van de tweede transistor. In feite kan men de schakeling onder blokschematische vorm voorstellen als getekend in figuur 3/99.5-2.
Uit deze voorstelling van zaken volgt duidelijk dat de schakeling inderdaad is opgebouwd uit twee als schakelaar opgebouwde transistoren, waarvan de uitgangen zijn doorverbonden met de ingangen en wel op een kruiselingse manier.

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/99.1
Hoofdstuk 3/6.7
Hoofdstuk 3/11.7



99.5 Flip-flop



Figuur 3/99.5-1: Het basisschema van iedere flip-flop.

Door deze koppeling zullen de transistoren zich alleen ofwel in sper, ofwel in geleiding kunnen bevinden. Bovendien zal het zo zijn dat, als de ene transistor in sper zit, de andere per definitie in geleiding staat ingesteld en andersom. Als een transistor in sper staat, dan wil dit zeggen dat het signaal of de spanning op de collector gelijk is aan de voedingsspanning. Als de transistor geleidt, dan zal de spanning op de collector gelijk zijn aan het massapotentiaal. Doordat er slechts twee verschillende spanningen op de uitgangen kunnen voorkomen, spreekt men meestal over deze spanningen in digitale termen. Als de transistor niet geleidt, dan zegt men dat de spanning op de collector "hoog", "H" of "1" is.
Als de transistor wel geleidt, dan zegt men dat de spanning op de collector "laag", "L" of "0" is.

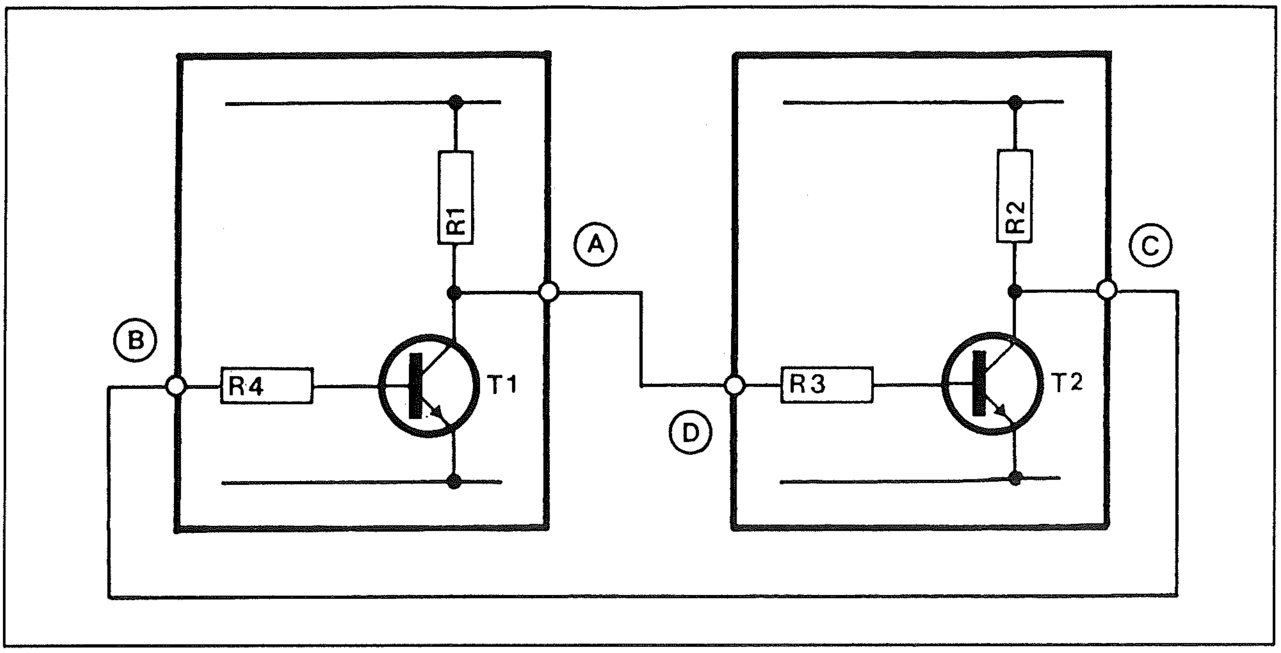
Verklaring van de werking

In figuur 3/99.5-3 zijn de twee mogelijke schakeltoestanden van de flip-flop getekend. De blokjes in deze figuur hebben dezelfde inhoud als in figuur 3/99.5-2. Stel dat transistor T1, om welke reden dan ook, geleidt. De uitgang A zal dus "L" zijn. Dat wil zeggen dat de tweede transistor geen spanning op zijn basis ontvangt. Deze halfgeleider verkiest dus in sper te blijven, met als gevolg dat de uitgang C "H" wordt. Deze positieve spanning komt op de ingang van het eerste blok te staan, zodat transistor T1 via zijn basisweerstand gestuurd wordt. Nu was het uitgangspunt dat deze transistor in geleiding was, hetgeen goed uitkomt want bewezen is dat dit inderdaad klopt. Deze situatie is geschetst in figuur 3/99.5-3-b. Uit de bespreking van de werking van de schakeling volgt duidelijk dat beide trappen elkaar zo sturen, dat steeds één in sper en één in geleiding staat ingesteld.
In figuur 3/99.5-3-a is de tweede mogelijke instelling van de flip-flop getekend. Nu geleidt transistor T2 en zal T1 dus in sper zijn ingesteld. Uiteraard blijft de vraag hoe de instelling in de ene dan wel de andere toestand geschiedt. Wel, daarvoor is een extra stuursignaal nodig. Over dit aansturen van de flip-flop wordt in de volgende paragraaf een en ander gezegd.

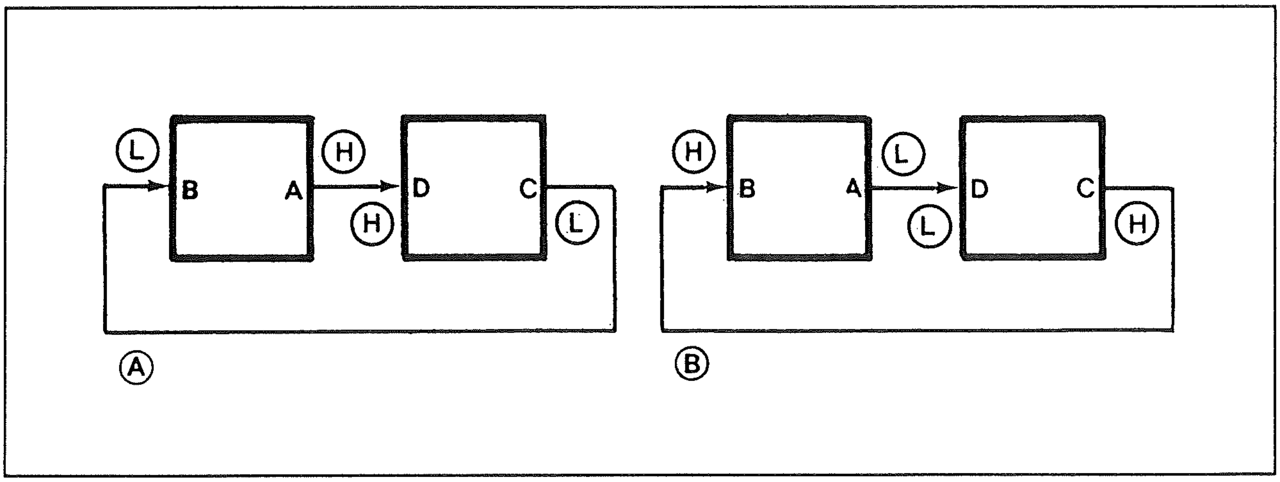
Experiment 1

Men kan het basisschema van de flip-flop, getekend in figuur 3/99.5-1, opbouwen op de universele experimenteerprint. Wanneer men zowel de zoemer van hoofdstuk 3/99.3 als het knipperlicht van hoofdstuk 3/99.2 heeft opgebouwd, dan kan men de zoemer afbreken. Het knipperlicht wordt namelijk gebruikt bij het experimenteren met de flip-flop als frequentiedeler.

99.5 Flip-flop



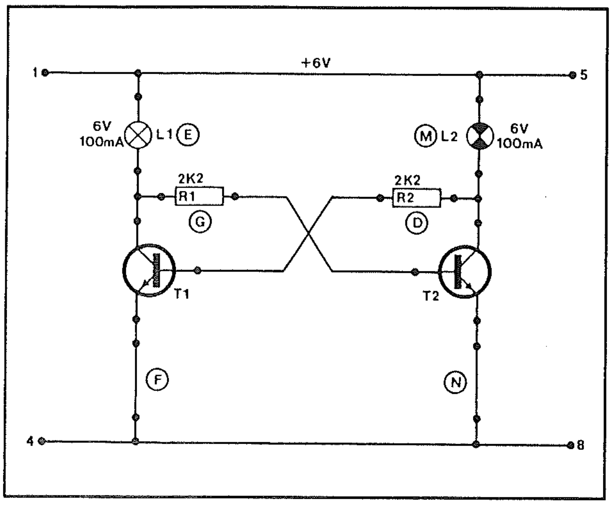
Figuur 3/99.5-2: Het schema van figuur 3/99.5-1 op een iets andere manier getekend geeft inzicht in de manier waarop beide trappen met elkaar gekoppeld zijn.



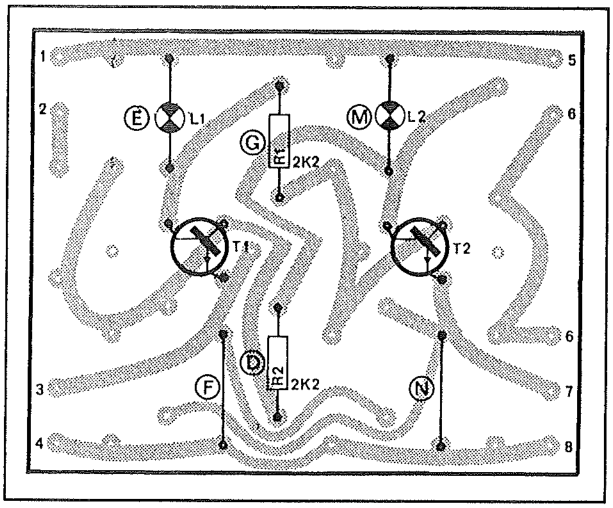
Figuur 3/99.5-3: De werking van de schakeling grafisch toegelicht.

In figuur 3/99.5-4 is de opbouw van de flip-flop getekend, in figuur 3/99.5-5 wordt nog eens de vertaling van een dergelijk schema naar een praktische opstelling op het printje voorgesteld.
Als men het printje verbindt met de 6 V batterij, dan stelt men vast dat een van de lampjes gaat branden en het andere gedoofd blijft. Deze situatie komt overeen met een van de in figuur 3/99.5-3 geschetste toestanden. De transistor, waarvan het collectorlampje brandt, is geleidend zodat de collectorspanning van die halfgeleider "L" is. De tweede transistor spert (lampje gedoofd), zodat de uitgang van die trap "H" is. De vraag die beantwoord moet worden is, waarom nu een transistor in sper is en de andere geleidend.

99.5 Flip-flop



Figuur 3/99.5-4: Het basisschema van een flip-flop, zoals dit op de universele experimenteerprint opgebouwd kan worden.



Figuur 3/99.5-5: De basisschakeling van de flip-flop opgebouwd op de universele experimenteerprint.

Welnu, dat heeft iets te maken met de verschillen tussen de eigenschappen van beide halfgeleiders. Bij het aanschakelen van de voedingsspanning willen beide transistoren gaan geleiden. De basissen worden immers via de lampjes en de basisweerstanden met de voeding verbonden. Nu zijn er geen twee transistoren op de wereld die exact dezelfde versterkingsfactor hebben. Een van de transistoren, die met de hoogste versterking, zal dus iets eerder in geleiding komen dan de tweede. Het gevolg is dat de collectorspanning van deze halfgeleider iets eerder naar "L" gaat dan de collectorspanning van zijn soortgenoot. Daardoor komt de basissturing van de slome in gevaar. Als bijvoorbeeld transistor T1 het snelst is, dan zal zijn collectorspanning het eerst gaan dalen waardoor er minder stroom in de basis van T2 vloeit. Die basisstroom wordt immers geleverd door R1, aangesloten op die naar nul gaande spanning. Het gevolg is dat T2 niet in geleiding kan komen. Zijn collectorspanning blijft "H" en transistor T1 kan met volle teugen basisstroom blijven consumeren via weerstand R2 en lampje L2.

Men kan dus besluiten dat bij een flip-flop de collector van de transistor met de grootste stroomversterking bij aanschakelen van de voeding "L" wordt. Nu is dit geen bevredigende situatie. Men weet immers niet op voorhand wie de snelste transistor is, zodat men ook niet kan incalculeren welke uitgang van de flip-flop "L" wordt en welke "H". Gelukkig is daar een eenvoudig middeltje tegen in te bouwen, maar daarover later meer.

De flip-flop omschakelen

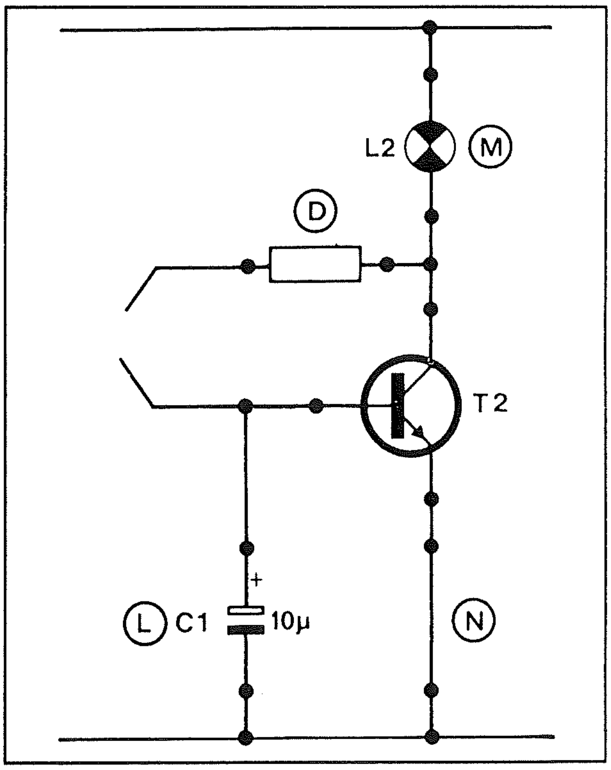
Als er verder niets anders gebeurt dan het aansluiten van de voedingsspanning, dan blijft de schakeling in rust. Eén lampje brandt en het ander is gedoofd. Wil de schakeling enige aktiviteit ontplooien, dan zal ze daartoe aangespoord moeten worden. Daarvoor soldeert men aan aansluiting 1 of 5 van de print, aan de voeding dus, een weerstandje van 1 kΩ. De andere zijde van de weerstand komt aan een draadje met krokodil-aansluitingen. Met

99.5 Flip-flop

het ongebruikt einde van dit draadje raakt men even de basis aan van de niet geleidende transistor. Men stelt vast dat het belastingslampje van die transistor gaat branden en dat het ander lampje dooft. Wat nu het belangrijkste is, is dat deze nieuwe situatie blijft bestaan, ook nadat het draadje van de basis verwijderd is. Het waarom van dit verschijnsel is natuurlijk duidelijk. Door het aanraken van de basis van de niet geleidende transistor zal deze halfgeleider gaan geleiden. Zijn collectorspanning wordt "L", met als gevolg dat de basissturing van de tot nu toe geleidende transistor wegvalt. Deze spert, zijn collector wordt "H". Na verwijdering van het draadje aan de basis zal de transistor die deze behandeling ondergaan heeft in geleiding blijven. De basis krijgt nu stroom toegevoerd van de "H"-uitgang van de transistor, die voordien geleidde. Dit verschijnsel, namelijk het omklappen van de spanningen op de uitgangen van een flipflop onder invloed van een uitwendig stuursignaal, noemt men het ***triggeren*** van de schakeling. Door deze triggering zal de flip-flop van zijn rustpositie omklappen naar zijn geactiveerde toestand.

Experiment 2

Uit het feit dat een flip-flop twee toestanden kent, namelijk een ruststand en een geactiveerde stand, kan men afleiden dat die ruststand wél bekend moet zijn. Men moet dus afspreken dat de schakeling in rust is, als bijvoorbeeld de uitgang van de eerste transistor "L" is. Het is dan natuurlijk wel noodzakelijk dat de schakeling bij verbinden met de voedingsspanning telkens in die afgesproken ruststand komt. Dat is, zoals in de vorige paragraaf uiteengezet, zonder speciale middelen niet bij voorbaat zeker. Om nu de flip-flop een voorkeurstand te geven volstaat het een elcootje in de schakeling te verwerken. Als men zich houdt aan de gemaakte afspraak, dus dat de rusttoestand het "L" zijn is van de uitgang van de eerste transistor, dan moet men tussen de basis van T2 en massa een elcootje schakelen van 10 µF. Dat is getekend in figuur 3/99.5-6. Uit deze tekening volgt tevens de plaats op de experimenteerprint, waar deze elco thuis hoort.



Figuur 3/99.5-6: Een extra condensator in de schakeling zorgt ervoor dat de flip-flop bij het inschakelen van de voeding steeds in zijn ruststand komt.

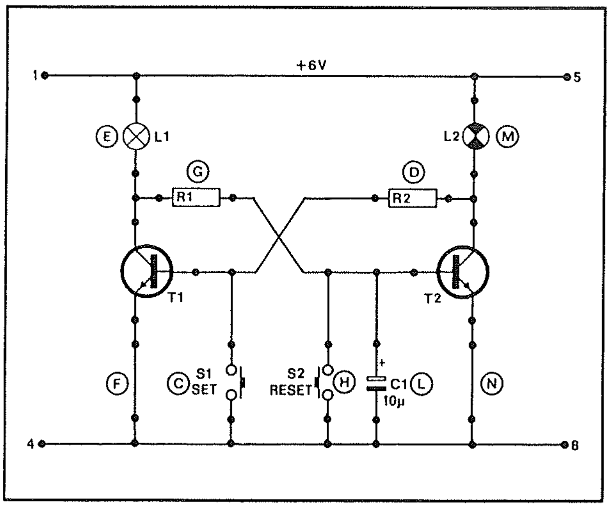
De werking is erg eenvoudig. Zoals beschreven houden de twee transistoren in de schakeling bij het verbinden met de voeding een race naar het in geleiding komen. Door het tussen schakelen van de elco, zal die race steeds beslecht worden in het voordeel van T1. Alvorens immers

99.5 Flip-flop

de basisstroom via R1 in de basis van T2 kan vloeien, moet de elco opgeladen worden tot 0,65 V. Onder deze spanning peinst een silicium transistor er immers niet over in geleiding te komen. Gedurende dat opladen van C1 heeft de andere transistor T1 al lang de geleidende toestand bereikt en valt de spanning op zijn collector, waaruit T2 gestuurd wordt, weg.

Experiment 3

In deze paragraaf wordt de flip-flop van figuur 3/99.5-1, een erg rudimentaire schakeling, omgebouwd tot een werkelijk bruikbaar geheugenelement. Zo'n flipflop noemt men een SET-RESET flip-flop en vormt in geïntegreerde toestand nog steeds de basis van alle geheugen-IC's. Het schema is getekend in figuur 3/99.5-7.



Figuur 3/99.5-7: Het schema van een SET-RESET flip-flop.

Hieruit kan men afleiden, dat het schema gelijk is aan dat van figuur 3/99.5-1, uitgebreid met een voorkeur startstand en twee drukknoppen. Deze knoppen vormen nu het zout in de pap. Als de schakeling met de voeding verbonden wordt, dan zal C1 er voor zorgen, dat de flip-flop in zijn voorkeurstand komt (collector T1 "L").

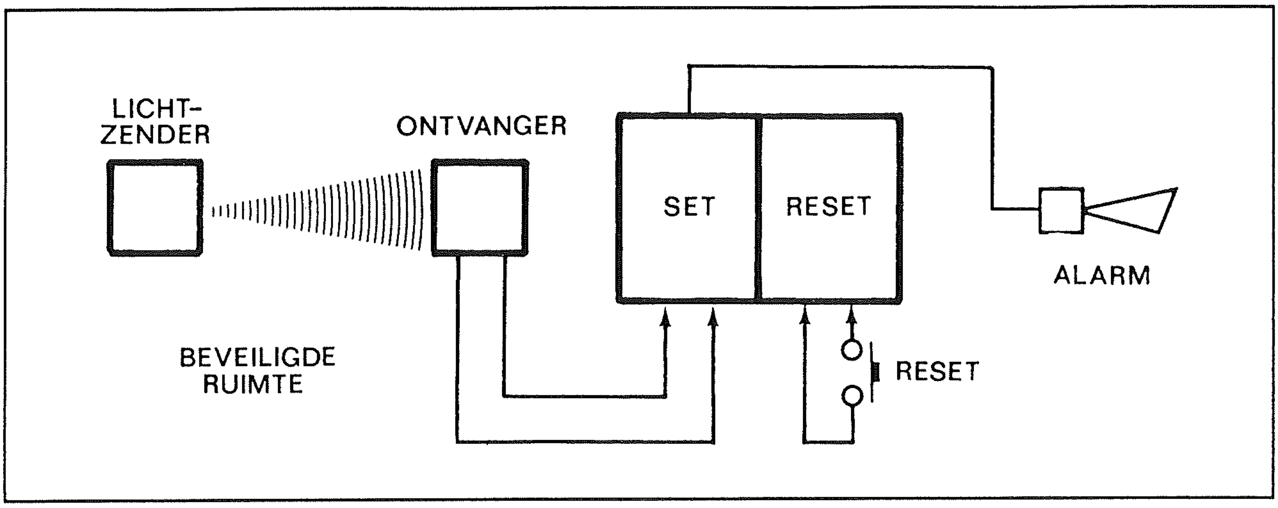
Drukt men op de "SET" drukknop, dan stelt men vast dat de schakeling omklapt. De flip-flop is dus getriggerd en staat nu in zijn geactiveerde stand. Dit is natuurlijk niet verbazingwekkend. Door het indrukken van S1 wordt de basis van T1 met de massa verbonden. Deze halfgeleider gaat dus sperren, de collectorspanning wordt "H" en dit signaal stuurt de tweede transistor in geleiding. De terugkoppeling tussen beide trappen zorgt ervoor dat deze toestand blijft bestaan ook nadat men de drukknop loslaat. Deze handeling, het triggeren van de flip-flop, noemt men ook wel eens het *setten* van de schakeling. In de realiteit van de dagelijkse elektronica zal dit setten niet geschieden door het indrukken van een knop maar door een puls, de set-puls. De geheugenfunctie van de flip-flop blijkt duidelijk uit dit voorbeeld. De schakeling zal de aanwezigheid van die tijdelijke set-puls registreren door om te klappen naar de geactiveerde toestand. Hij onthoudt als het ware, dat er op de set-lijn een puls is geweest.

Men kan de schakeling ook resetten. Daarvoor dient de tweede drukknop. Bij het drukken op deze knop zal de basis van transistor T2 kortgesloten worden met massa. Deze halfgeleider gaat sperren, de collector wordt "H" en dit hoge niveau stuurt de eerste transistor in geleiding. Besluit: de schakeling is terug gekeerd in zijn ruststand. In een praktische schakeling zal ook het resetten meestal gebeuren door een korte puls.

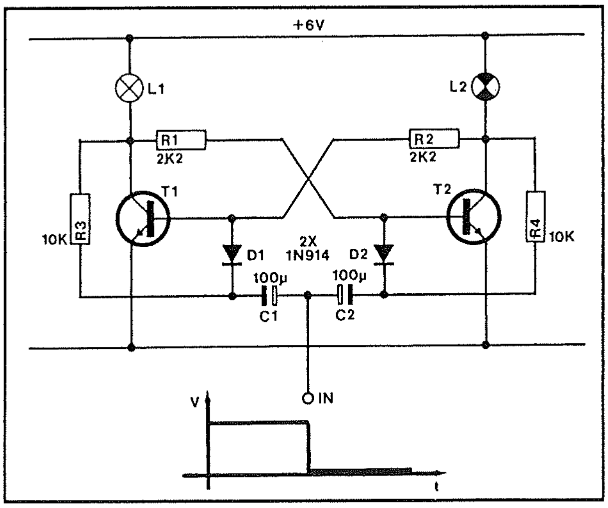
Toepassingsvoorbeeld

Men vraagt zich misschien af wat het praktische nut van de SET-RESET flip-flop is. In figuur 3/99.5-8 is een praktisch bruikbare toepassing van deze schakeling getekend. De flip-flop vormt hierbij het geheugenelement van een alarmschakeling.

99.5 Flip-flop



Figuur 3/99.5-8: Een SET-RESET flip-flop kan bijvoorbeeld gebruikt worden als geheugenelement in een elektronisch alarm.



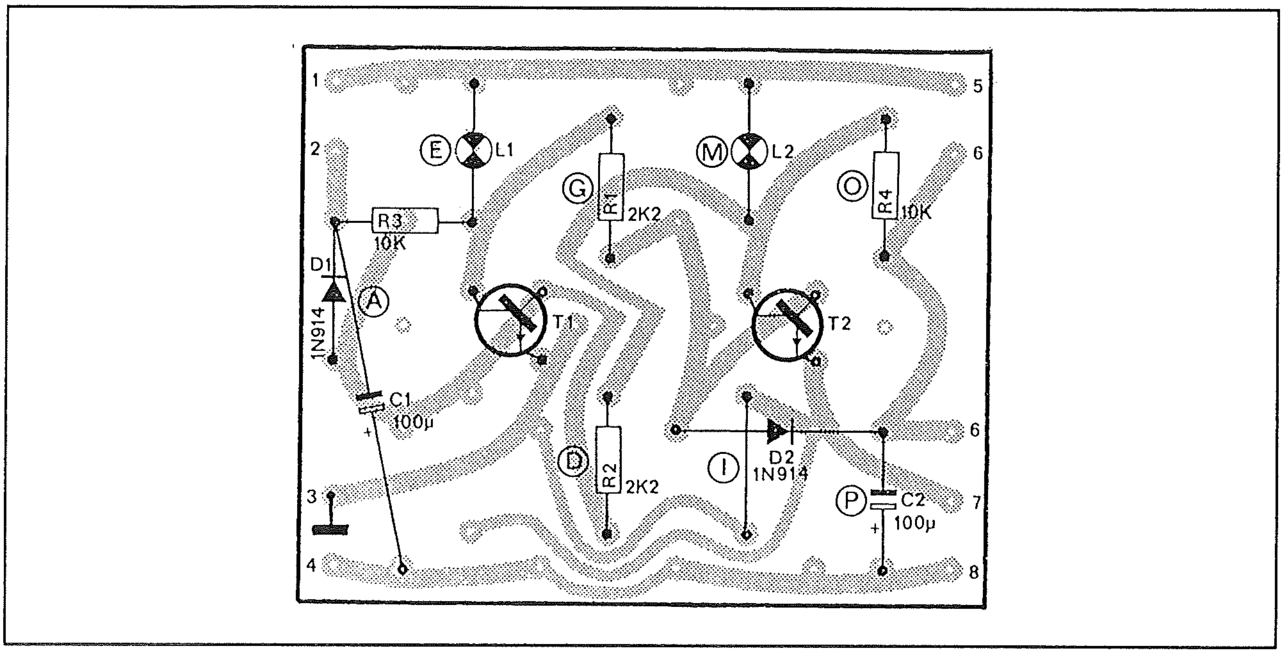
Figuur 3/99.5-9: De flip-flop, uitgebreid tot frequentiedeler.

Bij het aanschakelen van de voedingsspanning komt de flip-flop in zijn ruststand RESET. De uitgang van de eerste trap is dan laag. Deze uitgang is verbonden met een elektronische sirene. Door het lage signaal zal de zoemer niet geactiveerd worden. De SET-ingang is aangesloten op een zogenaamde lichtsluis. Deze is opgebouwd uit een lichtzender (een infrarode LED voorzien van een lenssysteem) en een ontvanger, een schakelingetje met een lichtgevoelige transistor. Als de onzichtbare lichtstraal even onderbroken wordt, doordat een persoon tussen zender en ontvanger doorloopt, ontstaat er een puls aan de SET-ingang van de flip-flop. Deze wordt dus getriggerd en klapt om. De uitgang van de eerste trap wordt "H" en dit hoge signaal stuurt de sirene. Door de geheugenfunctie van de flip-flop zal de sirene blijven loeien, tot men de schakeling RESET door het drukken op de drukknop.

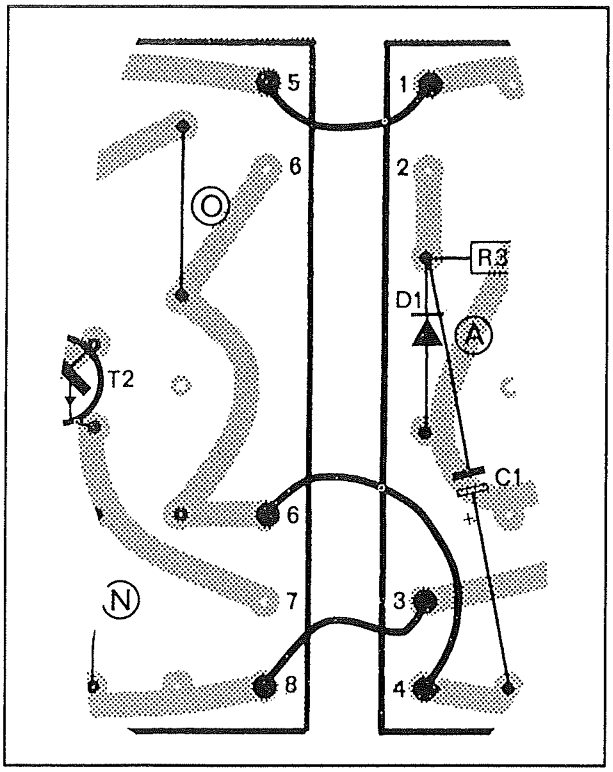
Experiment 4

In de inleiding van dit hoofdstuk werd gesteld dat de flip-flop zijn grootste populariteit in de elektronica dankt aan het feit dat hij in staat is de frequentie van een signaal te delen. Een flip-flop kan de frequentie van een signaal slechts door twee delen. De hogere deeltallen ontstaan door het achter elkaar schakelen van een aantal flip-flop's, voorzien van bepaalde terugkoppelingen. Met dit vierde experiment wordt aangetoond hoe een flip-flop geschakeld kan worden als frequentiedeler. In figuur 3/99.5-9 is het schema van een voor het delen van frequenties toegeruste flip-flop getekend.

99.5 Flip-flop



Figuur 3/99.5-10: Het schema van figuur 3/99.5-9 op de universele experimenteerprint. Let op: de massa is nu verbonden met de lijn 3-7!



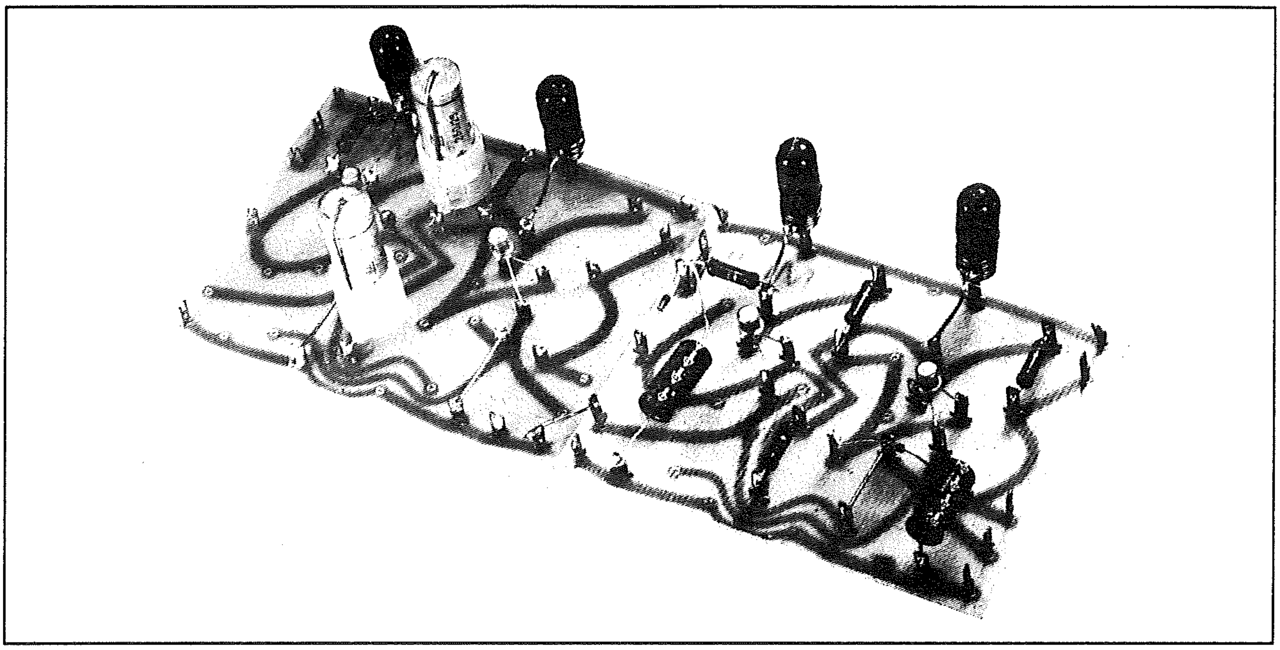
Figuur 3/99.5-11: Het doorverbinden van de knipperlicht en de flip-flop printen.

Dit schema is niet op de bekende manier getekend en dat komt doordat niet alle onderdelen op een van de voor onderdelen voorziene plaatsen in de experimenteerprint passen. Uit figuur 3/99.5-10 volgt echter dat de opbouw van de schakeling toch nog wel meevalt. Let hierbij op, dat de normale massaleiding 4-8 nu niet meer als massa dienst doet, maar als ingang van de schakeling. De massa is nu verbonden met aansluiting 3.

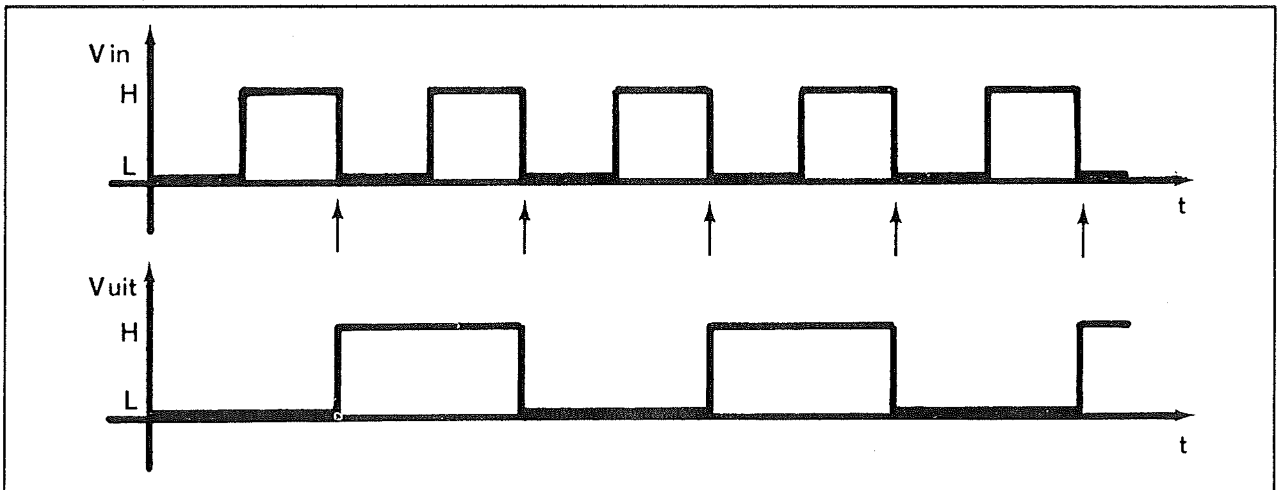
Wil de schakeling demonstreren wat zij kan, dan moet zij aan de ingang uiteraard een signaal ontvangen, waarvan de frequentie gedeeld kan worden.

Wel, daarvoor kan men het in hoofdstuk 3/99.2 opgebouwde knipperlicht gebruiken. In figuur 3/99.5-11 is getekend hoe beide printen aan elkaar gekoppeld worden, de foto van figuur 3/99.5-12 geeft een impressie van het eindresultaat.

99.5 Flip-flop



Figuur 3/99.5-12: De experimentele schakeling, waarmee de frequentiedelende eigenschap van een SET-RESET flip-flop aangetoond wordt.



Figuur 3/99.5-13: Grafische weergave van de in- en uitgangsspanningen van een als frequentiedeler geschakelde flip-flop.

Als alles goed gesoldeerd is (let daarbij vooral op de lampjes, het wil wel eens voorkomen dat een lampje door het rechtstreeks op de soldeerlipjes solderen defect raakt), dan zal men opmerken dat de lampjes van de flip-flop inderdaad op de halve frequentie gaan knipperen van de lampjes van het knipperlicht.

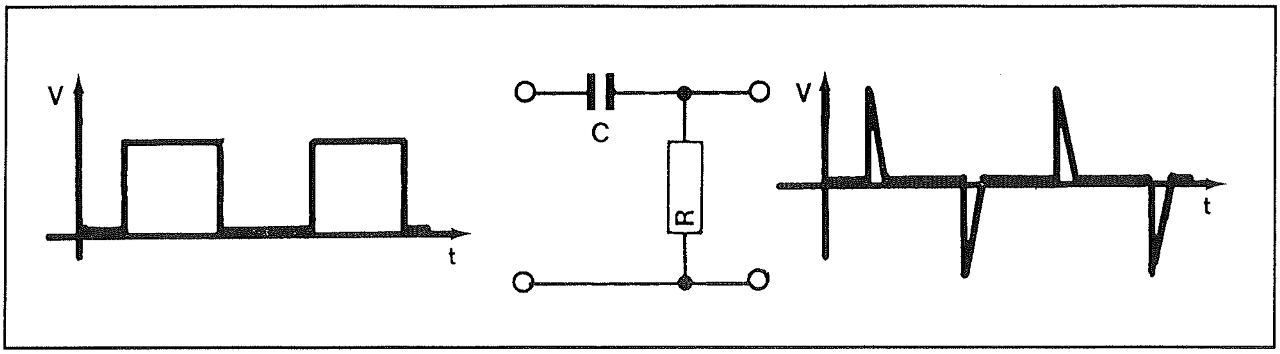
Hoe is dit nu te verklaren?
Het is duidelijk dat de aan de schakeling van de flip-flop toegevoegde onderdelen R3, R4, D1, D2, C1 en C2 daar alles mee te maken hebben. Merk op dat deze schakeling symmetrisch is, dus dat iedere transistor een gelijk aantal extra onderdelen toegemeten krijgt.

99.5 Flip-flop

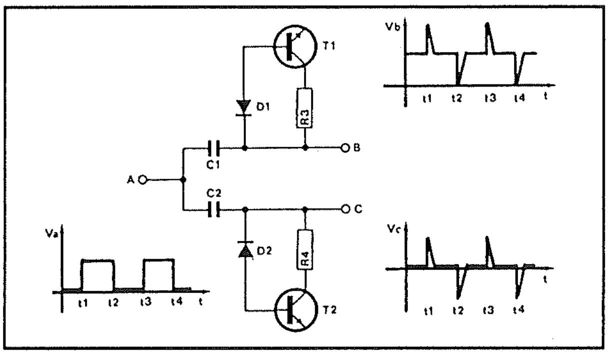
Uit het vorige experiment kan men besluiten dat een flip-flop om kan klappen, als men de basis van de geleidende transistor met de massa verbindt. Wel, dat is precies wat hier ook op een automatische manier gebeurt. Telkens als de ingangsspanning van de schakeling (dat is dus de collectorspanning van de rechter transistor van het knipperlicht) van "H" naar "L" omschakelt, zullen de hogergenoemde onderdelen ervoor zorgen dat de basis van de geleidende transistor nul wordt, zodat de schakeling omklapt. In figuur 3/99.5-13 is, voor de duidelijkheid, aangeduid door middel van een grafiekje wanneer dit verschijnsel plaatsgrijpt. Het zal duidelijk zijn dat de getekende uitgangsspanningen gemeten worden op één van de collectoren van de knipperlicht en op één van de collectoren van de flip-flop transistoren. Denk er verder aan, dat een "L"-signaal overeen komt met het branden van het lampje bij de betreffende collector.

Bespreking van de werking
Nu kan men de exacte werking van deze automatische triggering bestuderen.
Op de eerste plaats de werking van de elementen C1-R3 en C2-R4. Dit zijn zogenaamde differentiatoren. Een differentiator is in feite een soort hoogdoorlaat filter, een filter dus dat alleen de hoge frequenties in een signaal doorlaat. In figuur 3/99.5-14 is de reactie van een hoogdoorlaat filter op een vierkantsgolf getekend. Een vierkantsgolf (en dat is het signaal op de collector van het knipperlicht) bestaat uit een heleboel frequenties. De spanningssprong van het "L"-niveau naar het "H"-niveau (of omgekeerd) vertegenwoordigt de hoge frequenties in het signaal. Het filter zal dus alleen deze spanningssprongen doorlaten. Als, zoals getekend in figuur 3/99.5-14, de weerstand van de differentiator verbonden is met de massa, dan zullen de pieken aan de uitgang van de schakeling symmetrisch rond nul liggen. De positieve piek gaat dus van nul naar een positieve waarde, de negatieve piek gaat van nul naar een even grote negatieve waarde. Uit het schema van figuur 3/99.5-9 volgt, dat de weerstanden R3 en R4 van de differentiatoren niet met massa verbonden zijn, maar met de collectoren van de transistoren van de flip-flop. Zoals men weet is steeds een van die collectoren "L" en de andere "H". Stel dat de collector van T1 "H" is. In figuur 3/99.5-15 is een gedeelte van het schema van figuur 3/99.5-9 opnieuw getekend. Het gevolg van het feit dat de differentiator-weerstanden niet met de massa, maar met de collectoren verbonden zijn is, dat de pieken aan de uitgangen van de twee differentiatoren schommelen rond de niveaus "H" en "L". Daar verondersteld werd dat de collector van T1 "H" is, zullen de pieken van zijn differentiator schommelen rond "H". Let wel, bij deze redenering wordt er vooralsnog van uitgegaan dat die pieken geen gevolgen hebben voor de stand van de flip-flop. Dat hebben ze echter wel degelijk, zoals dadelijk zal blijken. Het enige dat op dit moment van belang is, is dat de spanning op de uitgangen van de twee differentiatoren afhankelijk is van de toestand waarin de flip-flop zich bevindt. De uitgang van de differentiator is, dat blijkt uit figuur 3/99.5-9, via een diode aangesloten op de basis van de transistor. In figuur 3/99.5-15 is de invloed van deze dioden buiten beschouwing gelaten.
Het zijn nu echter nét die onderdelen, die het omklappen van de flip-flop zullen veroorzaken. In figuur 3/99.5-16 wordt de invloed van de dioden in het geheel betrokken.

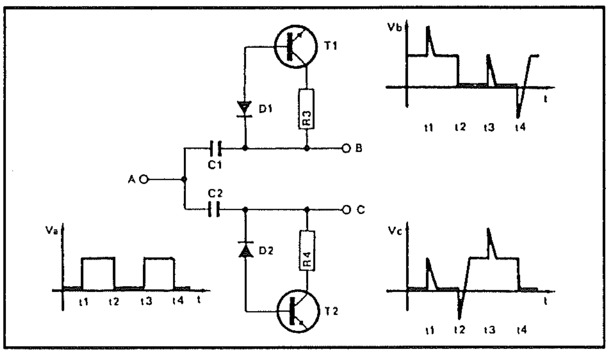
99.5 Flip-flop



Figuur 3/99.5-14: De eerste stap: de verklaring van de werking van de hier getekende differentiator.



Figuur 3/99.5-15: De tweede stap: uit deze tekening blijkt dat de ligging van de door de differentiatoren gegenereerde smalle pieken afhankelijk is van de spanningen op de collectoren.



Figuur 3/99.5-16: Derde en laatste stap: de twee dioden vormen als het ware de elektronische vertaling van de SET en RESET drukknoppen uit experiment 3.

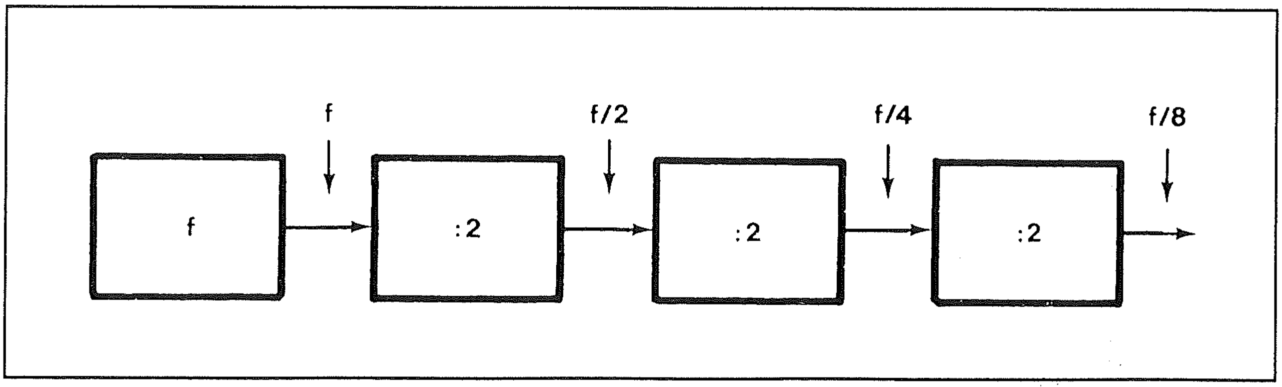
Men gaat weer uit van de veronderstelling dat op een bepaald ogenblik de collector van T1 "H" is en dus de collector van T2 "L". Op tijdstip t1 springt de ingang van de schakeling (dat is dus de uitgang van het knipperlicht) van "L" naar "H". De differentiatoren vieren hun lusten bot op deze overgang, met als gevolg dat na de differentiator-condensator enkel een korte spanningspiek overblijft. Bij T1 wordt die piek opgeteld bij het hoge niveau, dat via R3 op de uitgang van de differentiator staat. Bij T2 zit die piek gewoon op het lage niveau, de massa dus. Die positieve pieken zouden wat graag via de basissen van de transistoren afvloeien naar massa, maar jammer genoeg zitten er twee vervelende dioden in de weg. Die positieve pieken zitten immers op de kathoden, zodat deze aansluitingen van de dioden positiever is dan de anoden. De dioden sperren in zo'n geval, zodat de differentiatorpieken nergens heen kunnen. Er gebeurt dus niets! Op tijdstip t2 springt de uitgang van het knipperlicht van "H" naar "L". Deze spanningssprong wordt natuurlijk weer gedifferentieerd. Door de voorspanning op de weerstanden stelt men vast, dat alleen bij transistor T2 de piek ook werkelijk negatief wordt. De kathode van diode D2 wordt dus negatief ten opzichte van de anode en het onderdeel gaat geleiden. Dat wil zeggen dat de negatieve

99.5 Flip-flop

piek ongehinderd tot de basis van T2 kan doordringen. Nu was het uitgangspunt van de redenering dat deze halfgeleider geleidde (de collector is immers "L"). Door deze negatieve puls op de basis gaat deze halfgeleider even in sper komen. Dat nu, komt overeen met het drukken op de RESET-knop uit experiment 3. Door de interne terugkoppelingen tussen basis en collector (de weerstanden R1 en R2 uit figuur 3/99.5-9) zal de flip-flop dadelijk omklappen naar zijn andere stand. Dat wil zeggen dat de collector van T1 "L" wordt (deze transistor geleidt nu) en de collector van T2 "H" wordt (deze halfgeleider spert nu). Het rustniveau op de uitgang van de twee differentiatoren draait dus om, hetgeen getekend is in de rechter grafieken in figuur 3/99.5-16. Op tijdstip t3 klapt de knipperlicht schakeling weer om. De pieken aan de uitgang van de differentiator, die daarvan het gevolg zijn, zijn positief gericht, zodat noch diode D1, noch diode D2 zullen geleiden. Er gebeurt dus niets. Op tijdstip t4 klapt het knipperlicht alweer om. Nu blijkt duidelijk uit de figuur dat het gevolg hiervan een negatieve piek aan de uitgang van de bovenste differentiator is. Op dezelfde wijze als voorheen beschreven, zal nu diode D1 gaan geleiden waardoor de transistor T1 even in sper komt en de flip-flop weer omklapt.

Besluit

Dat was de verklaring van de toch vrij gecompliceerde werking van de als frequentiedeler geschakelde flip-flop. Samenvattend kan men stellen dat de triggerschakeling ervoor zal zorgen dat bij een negatieve spanningssprong op de ingang de geleidende transistor even in sper wordt gestuurd, met als gevolg dat de flipflop omklapt. De triggerkring is dus niets anders dan een soort geautomatiseerde SET-RESET drukknoppen. Als men even terugkeert naar de grafiek van figuur 3/99.5-13, dan ziet men daar duidelijk de frequentiedelende werking van de schakeling geïllustreerd. De uitgangspuls is inderdaad twee keer zo breed als de ingangspuls, hetgeen overeenkomt met een halvering van de frequentie van het ingangssignaal. Het spreekt voor zich dat men hogere deeltallen kan krijgen, door meer tweedelers achter elkaar te schakelen. Zo is in figuur 3/99.5-17 een schakeling getekend, waarbij de frequentie van het ingangssignaal door drie achter elkaar geschakelde identieke flip-flop's steeds door twee wordt gedeeld. De totale deelfactor is dan gelijk aan 2 * 2 * 2 = 8.



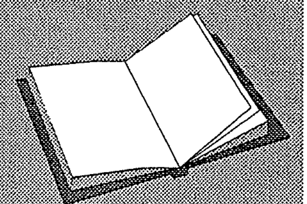
Figuur 3/99.5-17: Door identieke frequentiedelers achter elkaar te schakelen kan men de frequentie van een signaal delen door 2, 4, 8, 16, 32, ...

3/99.6
Monostabiele multivibrator

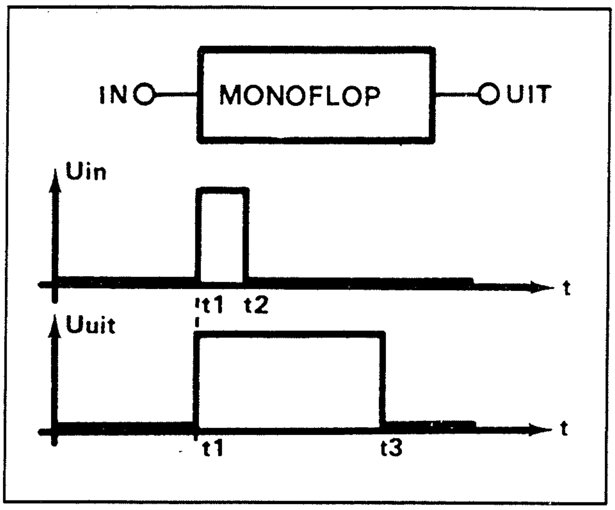
Wat is een monostabiele multivibrator?
De funktie van de schakeling, die in dit hoofdstuk wordt behandeld, namelijk de monostabiele multivibrator, kan het eenvoudigst uitgelegd worden aan de hand van figuur 3/99.6-1. Een monostabiele multivibrator (ook monoflop of one shot genoemd) is een schakeling, die aan de uitgang een puls opwekt met in te stellen breedte, als aan de ingang van de schakeling een startpuls wordt aangebracht. Daarbij bestaat er geen verband tussen de breedte van de ingangspuls en die van de puls aan de uitgang. Deze laatste wordt door de opbouw van de schakeling bepaald. De monoflop is dus een schakeling, die gebruikt kan worden om de breedte van een puls te vergroten of te verkleinen. Het praktische belang van een dergelijke schakeling zal waarschijnlijk niet zo dadelijk duidelijk zijn. Toch worden one shot's vaak gebruikt. Een voorbeeldje. Stel, men wil een schakeling ontwerpen, die een belletje laat gaan als de postbode een brief in de buitenbus gooit. Men zou door middel van een lampje en een foto-gevoelige weerstand een lichtsluis kunnen ontwerpen. Als een brief tussen de lamp en de foto-weerstand wordt gestoken, dan zal de weerstand van de LDR veranderen en deze verandering kan gebruikt worden om een bel te activeren. Nu zal een brief maar ongeveer één seconde tussen de lamp en de LDR zitten. De bel zou dus maar één seconde klinken, wat erg onopvallend is. Door middel van het tussen schakelen van een monoflop kan men de smalle puls van de LDR omvormen in een puls met een duur van bijvoorbeeld tien seconde (de tijdsduur van een puls wordt vaak de pulsbreedte genoemd), zodat men dan wél een opvallend belgerinkel kan verwachten. Zo zijn er ontelbare toepassingen te verzinnen, waar een monoflop zeer nuttige arbeid kan verrichten.

Eerste experiment:
het verbreden van een
puls door middel van een condensator
Omdat verbreden van een korte puls een van de belangrijkste toepassingen van een monoflop is, moet eerst verklaard worden hoe zo'n actie principieel in zijn werk gaat. Dat kan aan de hand van het schema van figuur 3/99.6-2, waar het typisch experimenteer-schema is getekend.

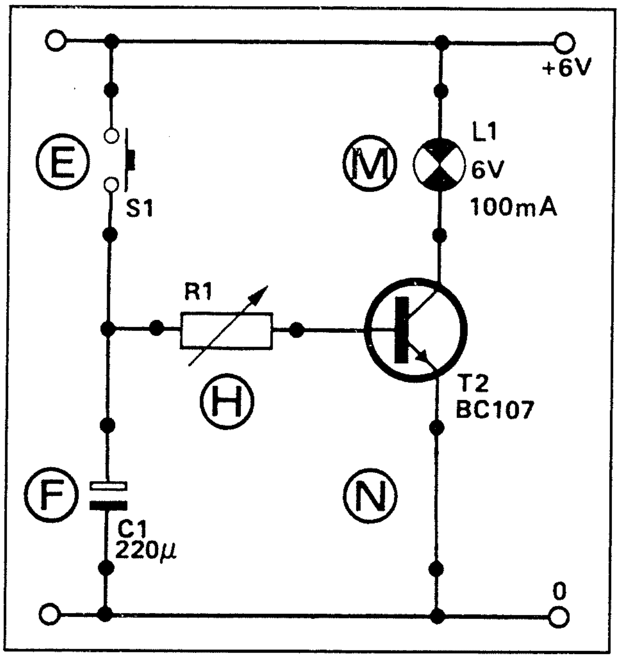
LEES OOK:
Hoofdstuk 3/12.9
Hoofdstuk 3/99.1
Hoofdstuk 3/99.2
Hoofdstuk 3/99.5



99.6 Monostabiele multivibrator



Figuur 3/99.6-1: Het blokschema van een monoflop. Als aan de ingang een puls met een willekeurige lengte wordt aangelegd, dan zal de schakeling een eenmalige puls opwekken, maar dan wel eentje waarvan de breedte door het ontwerp van de schakeling is vastgesteld.

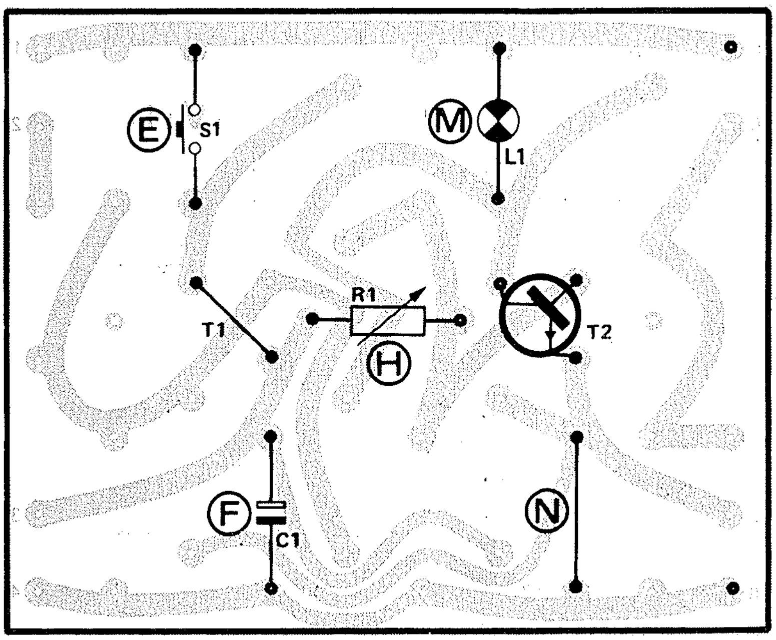


Figuur 3/99.6-2: Hoe men een korte actie (het indrukken van een schakelaar) kan omzetten in een langere actie (voorgesteld door het laten branden van een lampje), toont deze figuur.

In figuur 3/99.6-3 is de printopstelling voor dit eerste experiment getekend.
De weerstand R1 is het trimmerprintje, dat is samengesteld uit de serie-schakeling van een vaste weerstand van 470 Ω en drie trimmers van respectievelijk 1, 10 en 100 kΩ. Als men de voedingsspanning aan de schakeling van figuur 3/99.6-2 aansluit, zal er niets gebeuren. De basis van de transistor is immers, via de volledig ontladen condensator C1, met de massa verbonden. De halfgeleider spert, er vloeit geen stroom door de transistor en het lampje zal niet branden. Wat gebeurt er met de schakeling, als men heel even de schakelaar S1 indrukt? De condensator C1 wordt dan met de voedingsspanning verbonden en zal zich in een fractie van een seconde volzuigen met elektriciteit, dat wil zeggen dat deze condensator zich oplaadt tot de batterijspanning.

De spanning over dit onderdeel wordt dus gelijk aan 6 V. Zoals bekend, heeft een condensator de eigenschap dat hij als het ware een spaarpot vormt voor elektriciteit. In een condensator kan spanning een bepaalde tijd opgeslagen worden. Als men de schakelaar dus weer loslaat, dan wordt weliswaar de verbinding tussen condensator en batterij verbroken, maar door de genoemde oppot-eigenschap van een condensator zal de spanning over zijn aansluitklemmen 6 V blijven.
Maar, de condensator is door middel van de weerstand R1 verbonden met de basis van de transistor. Er gaat dus een stroom via deze weerstand in de basis vloeien, met als gevolg dat dit laatste onderdeel gaat geleiden. Er vloeit stroom door de collector en het lampje zal gaan branden.

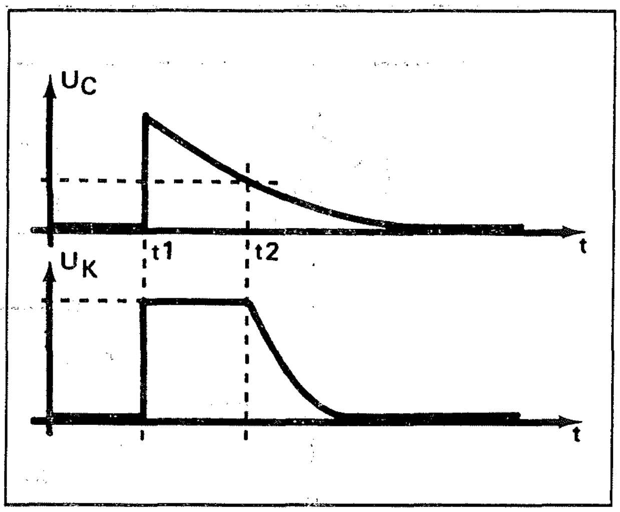
99.6 Monostabiele multivibrator



Figuur 3/99.6-3: De opbouw van het eerste experiment op de print. Let op! Hoewel transistor T1 bij deze proef niet gebruikt wordt, moet men toch de collector en emitter op de print doorverbinden door middel van een draadbruggetje, om de drukknop te verbinden met de rest van de schakeling.

De stroom, die door de weerstand R1 vloeit, zal de condensator langzaam maar zeker ontladen. De spanning over de condensator zal dus langzaam gaan dalen (net zoals een spaarpot, waaruit iedere week een gulden wordt gehaald, langzaam leeg wordt).
In figuur 3/99.6-4 is deze daling van de spanning op een grafische manier weergegeven. De bovenste curve geeft het verloop van de condensatorspanning weer. Op het ogenblik t1 wordt de schakelaar even gesloten en de spanning over de condensator wordt opeens gelijk aan de voedingsspanning. Nadien gaat de spanning over het onderdeel langzaam dalen. Op een bepaald moment, stel t2, is de spanning over de condensator gedaald tot 0,7 V. Dat is een zeer belangrijke waarde, want zoals bekend is dat de spanning, die tussen basis en emitter van een geleidende transistor staat. Als de spanning tussen basis en emitter kleiner wordt, dan zal de halfgeleider niet meer kunnen geleiden. Op het moment t2 is het zover, de spanning die ter beschikking staat is kleiner dan de nodige 0,7 V en de transistor zal sperren.
Het lampje dooft. De grafiek Uk in figuur 3/99.6-4 geeft het verloop van de spanning over het lampje weer. Zolang de basis volop stroom kan putten uit de condensator, zal de lampspanning maximaal zijn, omdat de transistor volledig geleidt. Als de condensatorspanning in de buurt van de magische 0,7 V komt, zal de transistor

niet voldoende basissturing krijgen om volledig te blijven geleiden. Hij vormt dan een weerstand, met als gevolg dat de spanning over de lamp langzaam afneemt. Door middel van de experimentele opstelling van figuur 3/99.6-3 kan men dat mooi demonstreren. Ook kan men de invloed van de grootte van R1 nagaan. Hoe kleiner deze weerstand, hoe sneller het lampje gedoofd zal zijn. Dat is logisch, want door het verkleinen van deze weerstand wordt de basisstroom groter, zodat de condensator door een grotere stroom belast wordt en hij sneller zal ontladen. Als men de weerstand erg groot maakt, zal het lampje weliswaar erg lang blijven branden, maar niet op volle intensiteit. Dat is ook logisch, want dan is de basisstroom zo klein dat de transistor niet volledig zal geleiden.
Besluit: op deze heel eenvoudige manier is een systeem ontstaan om een korte puls (het even indrukken van de schakelaar) om te vormen in een langere puls (het branden van het lampje), maar erg soepel werkt dit systeem niet!



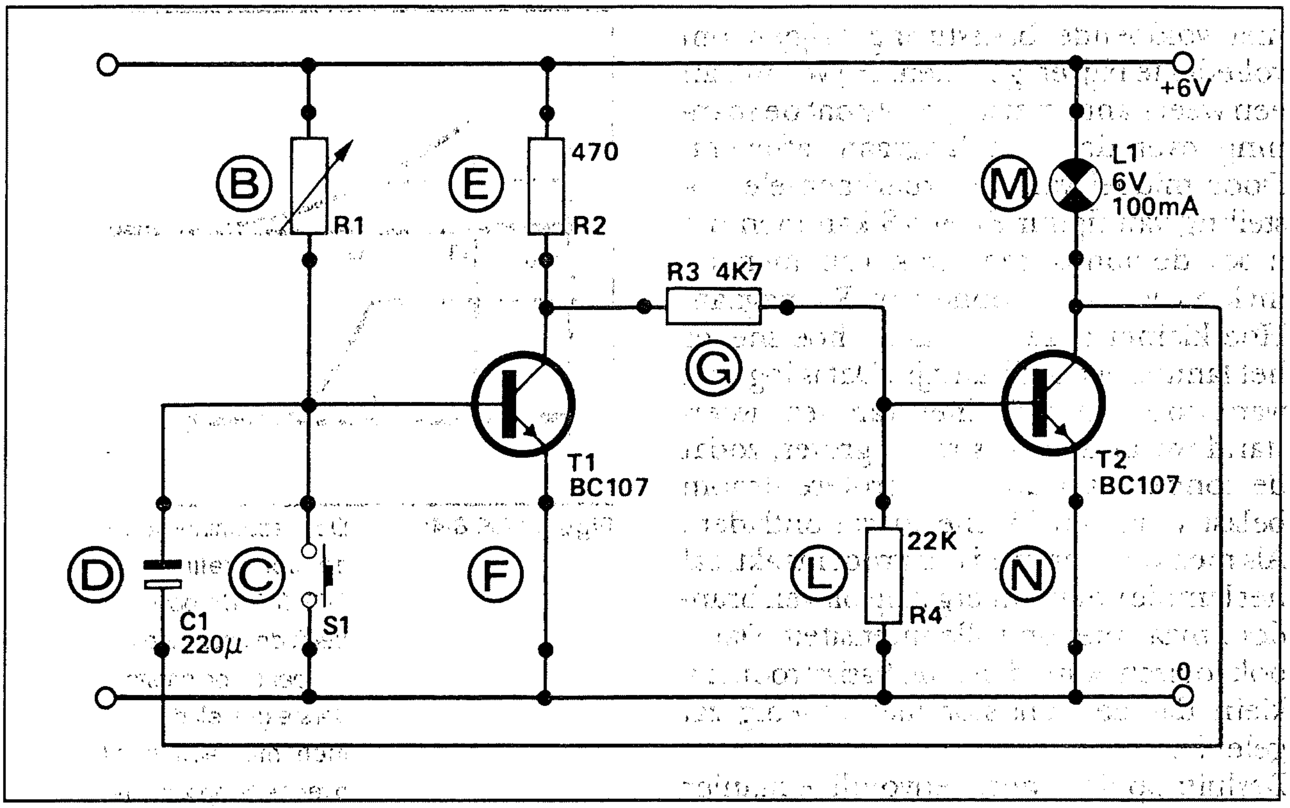
Figuur 3/99.6-4: De spanningsvormen van de schakeling van figuur 3/99.6-2. De bovenste grafiek geeft de spanning die over de condensator ontstaat, de onderste grafiek de spanning die men met een oscilloscoop over de lamp zou kunnen meten.

Experiment 2: de condensator in een terugkoppelsysteem

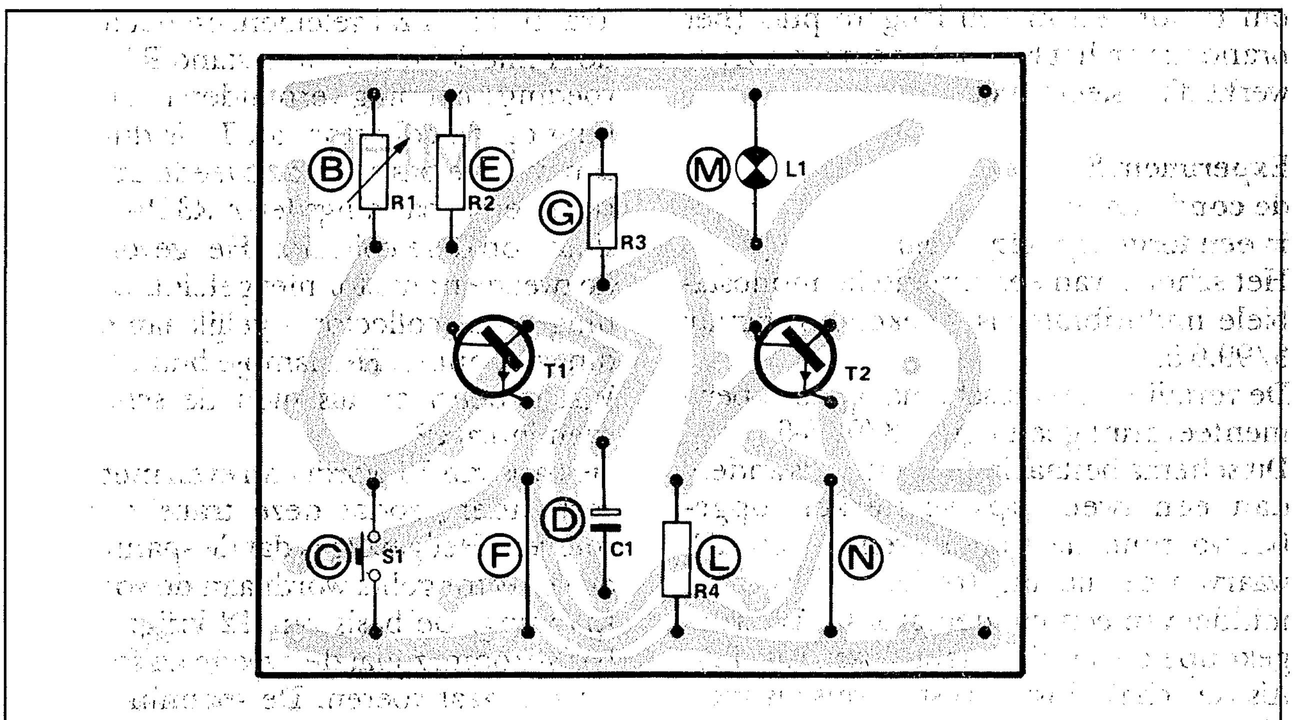
Het schema van een praktische monostabiele multivibrator is getekend in figuur 3/99.6-5.
De vertaling van dit schema op de experimenteerprint geeft figuur 3/99.6-6.
Dit schema bestaat in feite uit niets anders dan een twee-traps versterker, opgebouwd rond de transistoren T1 en T2, waarvan de uitgang (collector T2) door middel van een condensator C1 is teruggekoppeld naar de ingang (basis van T1).
Als de schakeling in rust is, dus als men niet op de drukknop S1 duwt, dan is de situatie de volgende.

Transistor T1 zal geleiden, omdat de basis door middel van de weerstand R1 met de voedingsspanning verbonden is. De spanning op de collector van T1 is dus gelijk aan nul. De basis van de tweede transistor is, via een spanningsdeler R3-R4, aangesloten op deze collector. Het gevolg is dat de tweede transistor niet geleidt. De spanning op de collector is gelijk aan de voedingsspanning. Het lampje brandt niet.
Wat gebeurt er, als men de schakelaar even indrukt?
De basis van T1 wordt dan even met massa verbonden, zodat deze transistor gaat sperren. Het gevolg is dat de spanning op de collector gelijk wordt aan de voedingsspanning. De basis van T2 krijgt opeens basisstroom, zodat de tweede halfgeleider stroom gaat voeren. De spanning op de collector van T2 wordt gelijk aan nul, het lampje zal branden.

99.6 Monostabiele multivibrator



Figuur 3/99.6-5: Het tweede experiment beschrijft het praktische schema van een monostabiele multivibrator.



Figuur 3/99.6-6: De monostabiele schakeling van figuur 3/99.6-5 op de experimenteerprint.

99.6 Monostabiele multivibrator

Zoals men weet, heeft een condensator de eigenschap, dat plotselinge spanningssprongen worden doorgelaten. Bij het indrukken van de schakelaar zal er op de collector van T2 zo'n plotselinge spanningssprong ontstaan, namelijk een overgang van voedingspotentiaal naar massa. Deze negatieve sprong wordt door de condensator C1 gewoon doorgelaten en belandt op de basis van T1.
Wat is het gevolg van deze negatieve spanning, die plotseling op de basis van T1 terecht komt? Zelfs als men de drukknop loslaat, zal de transistor T1 toch in sper blijven. De condensator heeft er immers voor gezorgd dat de negatieve spanning, die op de collector van de tweede transistor ontstond als gevolg van het indrukken van de schakelaar, op de basis van T1 kwam. Met andere woorden, de schakeling met twee transistoren, waarvan de uitgang door middel van een condensator is doorverbonden (teruggekoppeld, noemt men dat) met de ingang, heeft als voornaamste eigenschap dat hij de startactie (het nul maken van de spanning op de basis van T1 door het drukken van S1) automatisch overneemt (door de negatieve puls op de basis van T1). Als men dus de drukknop loslaat, verandert er niets aan de toestand van de schakeling. De negatieve spanning op de negatieve plaat van de condensator zorgt ervoor, dat de transistor T1 in sper blijft. De tweede transistor zal dus blijven geleiden, zodat het lampje blijft branden.
Uiteraard zal deze toestand niet blijven bestaan. De basis van T1 is immers ook nog eens verbonden met de positieve voedingsspanning, via de weerstand R1. Deze nu, zal ervoor zorgen dat de negatieve spanning op de basis van T1 langzaam afvloeit. Hoe kleiner R1 , hoe sneller de positieve spanning van de voeding de overhand zal halen op de negatieve spanning van de condensator. Hoe groter de weerstand, hoe langer de basis van T1 op een negatieve spanning zal blijven zitten. Hoe het ook zij, na een bepaalde tijd wordt de spanning op de basis van T1 gelijk aan +0,7 V, zodat deze halfgeleider weer gaat geleiden.
Op dat moment zal de collector van deze transistor een spanningsdaling ondergaan, die ervoor zal zorgen dat de tweede transistor minder basissturing krijgt. Het gevolg is, dat de spanning op de collector van T2 gaat stijgen. Deze stijging wordt door middel van condensator C1 doorgekoppeld naar de basis van T1. De gebeurtenis die aan de gang was, namelijk het positief worden van deze basis, wordt dus ook nu weer versterkt door de terugkoppeling via C1. Een en ander heeft tot gevolg dat de schakeling pijlsnel terugklapt naar de rusttoestand, T1 volledig in geleiding en T2 in sper.

Besluit

Het voordeel van deze schakeling boven de schakeling van figuur 3/99.6-2 is duidelijk.
Door het invoeren van een terugkoppeling (dat kost wel een extra transistor!) zullen optredende veranderingen in de schakeling zich versterken, zodat deze erg snel plaatsvinden. In deze schakeling dus geen langzaam uitdoven van het lampje, als de ingestelde tijd verstreken is, zoals bij figuur 3/99.6-2, maar een plotselinge overgang van niet branden naar wél branden en omgekeerd. Deze schakeling voldoet dus aan de eis die in het blokschema van figuur 3/99.6-1 gesteld werd. Een korte puls aan de ingang (indrukken van de schakelaar) heeft een mooie, lange puls (branden van het lampje) aan de uitgang tot gevolg.